

Jan Mattsson

# Lämmityksen ja sähkön sääkorjaustapojen analysointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Insinöörityö  
22.3.2012

Tekijä(t) Otsikko	Jan Mattsson Lämmityksen ja sähkön sääkorjaustapojen analysointi
Sivumäärä Aika	55 sivua + 16 liitettä 22.3.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	kiinteistöjohtaminen
Ohjaajat	kehitysjohtaja Lauri Heikkinen yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Työn tavoitteena oli analysoida sääkorjausmenetelmän toimivuutta nykyajan kiinteistöissä sekä selvittää ja ymmärtää sen ongelmia. Lisäksi tavoitteena oli selvittää jäähdytyksen sääkorjauksen tarvetta Suomessa.</p> <p>Insinööri työn tuloksia voivat hyödyntää sääkorjausmenetelmiä käyttävät ihmiset ja organisaatiot, kuten valtion virastot, kiinteistön omistajat, energiayhtiöt, kulutusseurantaan tarjoavat yritykset ja muut energia-alalla toimivat yritykset.</p> <p>Insinööri työssä tutkitaan laskemalla, mitä puutteita nykyisessä sääkorjausmenetelmässä on ja analysoidaan sen sopivuutta erilaisille kiinteistötyypeille. Lisäksi työssä tutkitaan jäähdytyksen sääkorjauksen tarvetta Suomessa analysoimalla laskennallisesti sähkönkulutuksen sääriippuvuutta.</p> <p>Tutkimuksessa todetaan, että nykyiset sääkorjauslaskentamenetelmät vaativat päivittämistä sekä tarkastelua uudesta näkökulmasta. Lisäksi todetaan, että jäähdytyksen sääkorjausta tarvitaan Suomessa.</p>	
Avainsanat	sääkorjaus, normeeraus, energiankulutusvertailu,

Author(s) Title	Jan Mattsson Analysis of weather correction for heating and electricity
Number of Pages Date	55 pages + 16 appendices 22 Mar 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Building Management
Instructors	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer Lauri Heikkinen, Development Director
<p>The objective of this thesis was to understand the problems with the calculation methods for weather correction for heating and how well the calculation methods suit different buildings. Another goal was to find out what the needs for cooling normalization methods are in Finland.</p> <p>The research methods used in the final year project are various calculation methods and Excel analyses. The suitability of a weather normalization method for different buildings, as well as the problem points in the calculations were identified. Regression analysis was used for the analysis of energy consumption</p> <p>The results of the thesis were, on one hand, that the weather normalization calculation methods need to be upgraded, and on the other hand, that a cooling normalization method is indeed needed in Finland.</p> <p>All peoples and companies that use normalization calculation can use the result of this thesis. Especially government institutes, building owners, energy companies, consumption follow-up companies and companies that work in energy business.</p>	
Keywords	weather correction, normalization, energy consumption comparison

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sääkorjaus	2
2.1	Sääkorjaus Suomessa	2
2.2	Sääkorjaus muissa maissa	3
2.2.1	Sääkorjaus Ruotsissa	3
2.2.2	Sääkorjaus Iso-Britanniassa	4
2.2.3	Sääkorjaus Yhdysvalloissa	4
2.2.4	Sääkorjaus Saksassa	5
3	Sääkorjauslaskentamallit	6
3.1	Sääkorjauslaskenta Suomessa	6
3.2	Sääkorjauslaskenta muissa maissa	8
4	Sääkorjauksen soveltamiskohteita	13
4.1	Eri rakennustyyppit	13
4.2	Lämmityksen sääkorjaus	15
4.3	Sähkön sääkorjaus	16
5	Kulutusseuranta	19
5.1	Kulutuksen mittausmenetelmät	19
5.1.1	Kaukolämpömittarit	20
5.1.2	Sähkömittarit	22
5.2	Kulutuksen vuosiseuranta	23
5.3	Kulutuksen kuukausiseuranta	24
5.4	Kulutuksen tuntitehoseuranta	26
6	Sääkorjauksen analysointi	27
6.1	Soveltamisalat	27
6.1.1	Rakennustyyppit	27
6.1.2	Kulutusseuranta	33
6.1.3	Säästölaskelmat	39
6.2	Sääkorjauslaskentamenetelmät	44
7	Muita mahdollisia vaihtoehtoja sääkorjaukseen	48

8 Yhteenveto	52
Lähteet	54
Liitteet	
Liite 1. Vertailupaikkakuntien sääkorjauskertoimet	
Liite 2. Normaalivuoden 1971–2000 lämmitystarveluvut	
Liite 3. Ruotsin, Englannin ja Saksan sääkorjauksen lähdeliitteet	
Liite 4. Helsingin Kaisaniemen kuukausi keskilämpötilat 2004–2010 ja normaalivuosi	

## 1 Johdanto

Energiatehokkuusasiat puhuttavat nyt paljon. Suomi on sitoutunut EU:n energiatehokkuusdirektiiviin (ESD) vuonna 2006, minkä seurauksena Suomelle tuli ohjeellinen 9 %:n energian säästötavoite (17,8 TWh) vuoteen 2017 mennessä. ESD:n seurauksena energiatehokkuussopimukset ja energiaohjelmat ovat lisääntyneet, mikä on luonut paineita myös nykyisten rakentamismääräysten kehittämiseksi. Tämä liikkeelle lähtenyt oravanpyörä on pannut monet olemassa olevat määräykset ja laskentatavat koetukselle ja vaatinut osa-alueiden uudelleen tarkastelua ja kehitystä. Tavoitteiden saavuttamiseksi on kehitetty energiatodistus, kiristetty eristysmääräyksiä nykyisissä rakentamismääräyksissä ja alettu edistää matalaenergiarakentamista. /1/

Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää kiinteistöjen kulutusseurannassa käytetyn sääkorjaustavan soveltuvuutta eri rakennustyypeille. Samalla tutkitaan nykyaikaisten sääkorjausmenetelmien soveltuvuutta rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutuksille. Insinööriyössä selvitetään sääkorjauksen vaikutusta kulutusvertailuun erityyppisissä rakennuksissa.

Työssä selvitetään tarkemmin pääkaupunkiseudulla sijaitsevien kauppakeskusten ja toimistorakennusten sääkorjauksen vaikutusta kulutuslukemiin nyt käytössä olevilla laskentamenetelmillä. Lopussa esitellään esimerkki vaihtoehtoisesta vertailumenetelmästä, joka perustuu regressioanalyysiin. Tutkimuksessani käytin Ilmatieteen laitoksen vuorokautisia keskilämpötiloja ja tunnin aikajaksolla mitattuja lämpötiloja Helsingin Kaisaniemestä. Lisäksi käytin Schneider Electric Buildings Finland Oy:n, Energiakolmio Oy:n ja IVG Polar Oy:n kulutusseurantatietokantoja.

Tarkoituksenani on antaa selkeä näkemys nykyisen sääkorjausmenetelmän aiheuttamista virheistä ja selvittää osa-alueita, joihin tulee kiinnittää huomiota tulevaisuuden sääkorjauksissa.

## 2 Sääkorjaus

Sääkorjaus on laskentamenetelmä, jonka tarkoituksena on mahdollistaa kiinteistöjen kulutusvertailu eri vuosina. Sääkorjaus on laskentamenetelmä, joka ottaa huomioon ulkolämpötilavaihtelut kulutusvertailua tehtäessä määritetyllä tarkasteluajanjaksolla. Sääkorjaus mahdollistaa myös energiansäästötoimenpiteiden energiansäästön seuraamisen.

Sääkorjaukseen käytetään astepäivälukuja tai nykyiseltä nimeltään lämmitystarvelukuja. Lämmitystarvelukuja käytti ensimmäistä kertaa Strachey vuonna 1878 tekemässään tutkimustyössä, joka liittyi maatalouteen. Strachey loi laskentakaavan referenssilämpötilalle, jota suomalaiset kutsuvat peruslämpötilaksi. Vuonna 1928 englantilainen ilmatieteen laitos julkisti laskentakaavan, joka perustui Stracheyn tutkimustyöhön. Tätä kaavaa käytetään vielä nykyäänkin lämmitystarvelukujen muodostamiseen. 1940-luvulla lämmitystarvelukuja alettiin käyttää rakennusten lämmitysenergian kulutuksen vertailussa. /2/

### 2.1 Sääkorjaus Suomessa

Suomessa sääkorjaus tehdään yleisesti normeerausmenetelmällä laskennallisesti. Normeeraus suoritetaan Ilmatieteen laitoksen julkaiseman normaalivuoden 1971–2000 lämmitystarvelukuja (S17) sekä toteutuneen vuoden lämmitystarvelukuja apuna käyttäen. Suomessa käytetyt laskentamenetelmät on esitetty luvussa 3.1 Sääkorjauslaskenta Suomessa.

Aiemmin mainittu S17 tarkoittaa sisälämpötilaa  $+17\text{ °C}$ . Lämmitystarveluku S17 syntyy vuorokausikeskiarvon ja  $+17\text{ °C}$ :n sisälämpötilan erotuksena. Miksi sitten käytämme sisälämpötilana  $+17\text{ °C}$ :ta? Yleisesti oletetaan, että rakennusten lämpökuormat (ihmiset, valaisimet, elektroniset laitteet, auringonsäteily) nostavat sisälämpötilaa  $+4\text{ °C}$ :lla eli  $+21\text{ °C}$ :seen.

Ilmatieteen laitoksen laskentatavan mukaan lämmitystarveluku laskennassa ei huomioida lukuja keväällä (maaliskuu–toukokuu) päivinä, jolloin keskilämpötila on yli  $+10\text{ °C}$  ja syksyllä (syyskuu–marraskuu) päivinä, jolloin keskilämpötila on yli  $+12\text{ °C}$ . /3/

Suomessa ei toistaiseksi ole käytössä jäähdytyksen sääkorjausta, mutta jäähdytystarve lisääntyy vuosi vuodelta ja jäähdytyksen sääkorjaus tulee yhä ajankohtaisemmaksi. Useissa Euroopan maissa sääkorjataan myös jäähdytyksen kulutusta.

## 2.2 Sääkorjaus muissa maissa

Kaikilla mailla on omat laskentametodit sääkorjaukseen, mutta suurimmat erot näkyvät oikeastaan lämmitystarvelukujen laskennassa ja kiinteistön peruslämpötilan määrittämisessä, jossa Suomessa käytetään aina  $+17\text{ °C}$ :ta. Suurimmassa osassa maita käytetään kuitenkin valmiiksi määriteltäviä peruslämpötiloja lämmitystarvelukujen laskennassa, kuten Suomessakin, mutta vaihtoehtoja saattaa olla useampia. Tässä luvussa käsitellään eri maiden laskentatapojen eroja verrattuna Suomen sääkorjausmenetelmiin.

### 2.2.1 Sääkorjaus Ruotsissa

Ruotsissa sääkorjaus tehdään vastaavalla tavalla kuin Suomessa. Ruotsissa käytetään myös peruslämpötilaa  $+17\text{ °C}$ , jolloin ilmaislämpöenergian osuuden oletetaan olevan kaikissa rakennustyypeissä  $+4\text{ °C}$ . Laskentamenetelmätkin ovat melko samat, mutta poikkeavuus on kuukausikohtaisessa lämpötilojen huomioimisessa. Ruotsissa lämmitystarveluku laskennassa ei huomioida lämpötiloja, jos ne ylittävät seuraavat sovitut ulkolämpötilan raja-arvot:

huhtikuussa, jos ulkolämpötila on yli  $+12\text{ °C}$

touko-heinäkuussa, jos ulkolämpötila on yli  $+10\text{ °C}$

elokuussa, jos ulkolämpötila on yli  $+12\text{ °C}$

syyskuussa, jos ulkolämpötila on yli  $+13\text{ °C}$ .

Ruotsissa ei tehdä jäähdytyskaudella sääkorjausta. /4/



### 2.2.2 Sääkorjaus Iso-Britanniassa

Iso-Britanniassa sääkorjaus poikkeaa hieman enemmän Suomen ja Ruotsin tavasta tehdä sääkorjausta. Iso-Britanniassa käytetään kolmea peruslämpötilaa kiinteistöille (+18,5 °C, +15,5 °C ja +10,0 °C) lämmitystarvelukujen laskennassa ja kolmea peruslämpötilaa (+15,5 °C, +5,0 °C ja -20,0 °C) jäähdytystarvelukujen laskennassa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että Iso-Britanniassa on lämmitystarvelukutaulukoita useampia ja siellä huomioidaan rakennustyyppin mukaan, minkä tasoinen peruslämpö rakennukselle määritellään sääkorjauksessa. Iso-Britanniassa on myös eri paikkakunnilta käytössä päivittäiset, viikoittaiset ja kuukausittaiset lämmitystarveluvut. Vaihtoehdot mahdollistavat sääkorjauksen myös lyhyemmillä aikajaksoilla. Lämmityksen lämmitystarvelukujen laskentakaavat ovat kuitenkin samantyyppisiä kuin Suomessa. Iso-Britanniassa lämmitystarvelukuja ei lasketa, jos ulkolämpötila keskiarvo nousee yli +15,5 °C:n mittausjaksolla, kun Suomessa lämpötila raja-arvona on keväällä +10 °C ja syksyllä +12 °C. Laskentakaavoista on tarkemmat kuvaukset luvussa 3 Sääkorjauslaskentamallit.

Iso-Britanniassa sääkorjataan myös jäähdytystä käyttämällä jäähdytystarvelukuja. Jäähdytystarvelukujen laskentamenetelmää on päivitetty Iso-Britanniassa 1.5.2011, jotta laskelmilla päästäisiin tarkempaan lopputulokseen. Jäähdytystarvelukuja laskettaessa ei laskennassa huomioida lämpötiloja, jotka ovat alle kiinteistön peruslämpötilan, joka on usein Iso-Britanniassa +15,5 °C. Iso-Britanniassa käyttämät jäähdytyksen sääkorjaus- ja jäähdytystarvelukulaskelmat esitetään luvussa 3.2 Sääkorjauslaskenta muissa maissa. /5/

### 2.2.3 Sääkorjaus Yhdysvalloissa

Yhdysvalloissa sääkorjaus poikkeaa hieman enemmän Suomen sääkorjausmallista. Yhdysvalloissa on usein tiedossa kiinteistön peruslämpötila, jolloin sääkorjaukseen käytetään aina kiinteistön omaa peruslämpötilaa. Yhdysvalloissa kiinteistöjen peruslämpötilatiedon saa usein kiinteistön omistajalta, mutta jos tämä ei ole tiedossa, se lasketaan tai vaihtoehtoisesti käytetään kiinteää +18,3 °C:ta (65 °F). Peruslämpötila lasketaan, jos

tarkastelu ei ole riittävän tarkka  $+18,3\text{ °C}$ :n peruslämpötilalla. Peruslämpötilan laskenta on esitetty luvussa 3.2 Sääkorjauslaskenta muissa maissa.

Lisäksi Yhdysvalloissa on ulkopuolinen valtion tarjoama palvelu, johon kiinteistön tiedot voidaan syöttää. Ohjelmisto laskee kiinteistön sääkorjauksen. Palvelun käyttämisestä maksetaan noin 1 000 dollarin käyttömaksu vuodessa. Ohjelmisto laskee lämmityksen ja jäähdytyksen sääkorjauksen. Jäähdytystarvelukujen ja lämmitystarvelukujen laskentamenetelmä on vastaava kuin Iso-Britanniassa. Lämmitystarvelukujen laskennassa ulkolämpötilan noustessa yli  $+18,3\text{ °C}$ :n ( $65\text{ °F}$ ) tai yli kiinteistön peruslämpötilan ei lämmöntarvelukuja huomioida laskennassa. Jäähdytystarvelukuja laskettaessa on vaikutus käänteinen. /6/

Yleensä Yhdysvalloissa sääkorjauksen laskentamalli on vastaava kuin Iso-Britanniassa, ja suurin ero on peruslämpötilan huomioimisessa.

#### 2.2.4 Sääkorjaus Saksassa

Saksan sääkorjaustapa on samanlainen kuin Suomessa. Saksassa käytetään lämmitystarvelukujen laskennassa  $+20\text{ °C}$ :n peruslämpötilaa. Saksassa ei tehdä jäähdytyksen sääkorjausta. Suomen tavasta poiketen Saksassa ulkolämpötilan ollessa yli  $+15\text{ °C}$  ei lämpötiloja huomioida lämmitystarveluvun laskennassa. /7/

### 3 Sääkorjauslaskentamallit

Luvussa esitellään laskentamalleja, joita käytetään Suomessa ja muualla Euroopassa sekä Yhdysvalloissa.

#### 3.1 Sääkorjauslaskenta Suomessa

Normeerauksessa käytetään seuraavia kaavoja riippuen, siitä verrataanko rakennuksen kulutustietoja saman rakennuksen, samalla paikkakunnalla vai eri paikkakunnalla olevan rakennuksen kulutuksiin.

$$Q_N = \frac{S_N}{S_T} * Q_T + Q_{LKV} \quad (1)$$

Kaavaa 1 käytetään, kun sääkorjausta käytetään rakennuskohtaiseen eri vuosien energiankulutusten vertailuun.

$$Q_N = k_1 * \frac{S_N}{S_T} * Q_T + Q_{LKV} \quad (2)$$

Kaavaa 2 käytetään, kun sääkorjausta käytetään paikkakuntaakohtaisten rakennusten energiankulutusten vertailuun.

$$Q_N = k_2 * \frac{S_N}{S_T} * Q_T + Q_{LKV} \quad (3)$$

Kaavaa 3 käytetään, kun sääkorjausta käytetään Suomen rakennusten energiankulutusten vertailuun. Vertailupaikkakunnaksi on valittu Jyväskylä, jonne kaikki vertailukulutukset sääkorjataan. /8/

$Q_N$  on rakennuksen normeerattu lämmitysenergiankulutus, [kWh]

$S_N$  on normaalivuoden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla (liite 1), [Kd]

$S_T$  on toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla, [Kd]

$Q_T$  on toteutunut tilojen lämmitysenergian kulutus, [kWh]

$Q_{LKV}$  on lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluva energia, [kWh]

k1 on paikkakuntakohtainen korjauskerroin (liite 2)

k2 on korjauskerroin Jyväskylään (liite 2) /8/

Ilmatieteen laitoksen normaalivuoden lämmitystarveluku ja toteutunut lämmitystarveluku S17 lasketaan kaavalla 4.

$$S = \sum (T_p - \bar{T}_u) \Delta t \quad (4)$$

S on lämmitystarveluku, [Kd]

T<sub>p</sub> on peruslämpötila, [°C]

$\bar{T}_u$  on ajanjaksoa  $\Delta t$  vastaava keskilämpötila, [°C]

$\Delta t$  on ajanjakso (yleensä 1 vrk), [vrk]

Huom! Otetaan huomioon ulkolämpötilat ja ulkopuoliset lämpökuormat luvun 2.1 Sääkorjaus Suomessa mukaan.

Normaalivuoden lämmitystarveluku lasketaan samalla kaavalla, mutta laskentajaksona ovat 1971–2000 toteutuneet keskilämpötilat 8:n havainnon keskiarvona. Mikäli 8:aa havaintoa ei ole ollut saatavilla, on laskenta tehty empiirisellä kaavalla käyttämällä 4:ää havaintoa.

Q<sub>T</sub> toteutunut lämmitysenergia mitataan ja aikajaksot vaihtelevat mittalaitteiston iän mukaan vuositason mittauksesta nykyaikaiseen tuntitehomittaukseen.

Q<sub>LKV</sub> on toteutunut lämpimän käyttöveden energiankulutus, joka lasketaan kaavalla 5.

$$Q = \frac{\rho * C_p * V * (T_2 - T_1)}{3600} \quad (5)$$

Q on veden lämmittämiseen kuluva energia, [kWh]

ρ on veden tiheys (1000 kg/m<sup>3</sup>), [kg/m<sup>3</sup>]

C<sub>p</sub> on veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg °C), [kJ/kg °C]

V on kulutettu lämpimän käyttöveden määrä, [m<sup>3</sup>]

T<sub>2</sub> on lämmitetyn veden lämpötila (55...58 °C), [°C]

$T_1$  on kylmän veden lämpötila (7...11 °C), [°C]

3600 on yksikkömuunnos (kJ/kWh). /9/

### 3.2 Sääkorjauslaskenta muissa maissa

Muissa maissa käytetty lämmityskauden sääkorjausmenetelmä on laskennallisesti vastaava kuin Suomessa, mutta lämmitystarvelukujen laskenta eroaa useimmissa maissa Suomen toimintamallista hieman. Suurin ero tulee peruslämpötiloista.

Iso-Britanniassa on käytetty lämmitystarvelukujen laskentaan kaavaa 6.

$$S_H = \sum T_p - \frac{(T_{MAX} - T_{MIN})}{2} \quad (6)$$

$S_H$  on lämmitystarveluku, [Kd]

$T_p$  on peruslämpötila, [°C]

$T_{MAX}$  on maksimilämpötila mittausjaksolla, [°C]

$T_{MIN}$  on minimilämpötila mittausjaksolla, [°C] /5/

Peruslämpötila saadaan selville laskennallisesti esimerkiksi lineaarisen regressioanalyysin perusteella. Regressioanalyysissä analysoidaan toteutuneen kulutuksen suhdetta lämmitystarvelukuun tai ulkolämpötilaan. Vertailupisteet voidaan piirtää esimerkiksi excel kuvaajaan, joka mahdollistaa automaattisen trendikäyrä piirtämisen kuvan pisteille. Trendikäyrän avulla saadaan selville pisteiden selitysaste, joka on  $R^2$ . Selitysasteella tarkoitetaan vertailupisteiden suhdetta trendikäyrään. Jos selitysasteen arvo on lähellä ykköstä, on analyysin tulos luotettava ja kuvaajasta voidaan todeta luotettavasti, mikä on kiinteistön todellinen peruslämpötila. Peruslämpötila luetaan kuvaajasta lämpötilan taitepisteessä, jossa lämmitysenergiankulutus nousee suhteessa ulkolämpötilaan.

Lineaarisen regressioanalyysin trendikuvaajan kaava on  $y = ax + b$ , jossa kaavan muuttuja  $a$  saadaan laskettua kaavalla 7.

$$a = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

$x$  on  $x$ :n arvo

$\bar{x}$  on  $x$ :n arvojen keskiarvo

$y$  on  $y$ :n arvo

$\bar{y}$  on  $y$ :n arvojen keskiarvo

Kun  $a$ :n arvo on saatu selville, voidaan  $b$ :n arvo laskea kaavalla 8.

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (8)$$

$\bar{x}$  on  $x$ :n arvojen keskiarvo

$\bar{y}$  on  $y$ :n arvojen keskiarvo

Kun molemmat arvot ovat selvillä, voidaan muodostaa trendikuvaajan kaava  $y = ax + b$ . Tämän jälkeen yleensä lasketaan pisteiden korrelaatio suhteessa trendikuvaajaan kaavalla 9.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (9)$$

$x$  on  $x$ :n arvo

$\bar{x}$  on  $x$ :n arvojen keskiarvo

$y$  on  $y$ :n arvo

$\bar{y}$  on  $y$ :n arvojen keskiarvo

Kun korrelaatiokerroin on laskettu kaavalla 9, voidaan laskea trendikuvaajan selityssaste korottamalla se toiseen potenssiin, kuten kaavassa 10, minkä jälkeen tiedämme, kuinka tarkka regressioanalyysi on.

$$R^2, 0 < R < 1 \quad (10)$$

Tässä on vielä esimerkkilaskenta regressioanalyysistä, jossa y on lämmityksen kulutus ja x on ulkolämpötila. Käytämme esimerkissä neljää vertailupistettä (X, Y). Vertailupisteet ovat (10, 10), (-10, 50), (-20, 124), (12, 6)

Aloitetaan laskenta laskemalla arvojen x ja y keskiarvot.

$$\bar{x} = \frac{12 + 10 + (-10) + (-20)}{4} = -2$$

$$\bar{y} = \frac{6 + 10 + 50 + 124}{4} = 47,5$$

Tämän jälkeen lasketaan kaavojen muut muuttujat käyttämällä aputaulukkoa.

Taulukko 1. Apulaskentataulukko

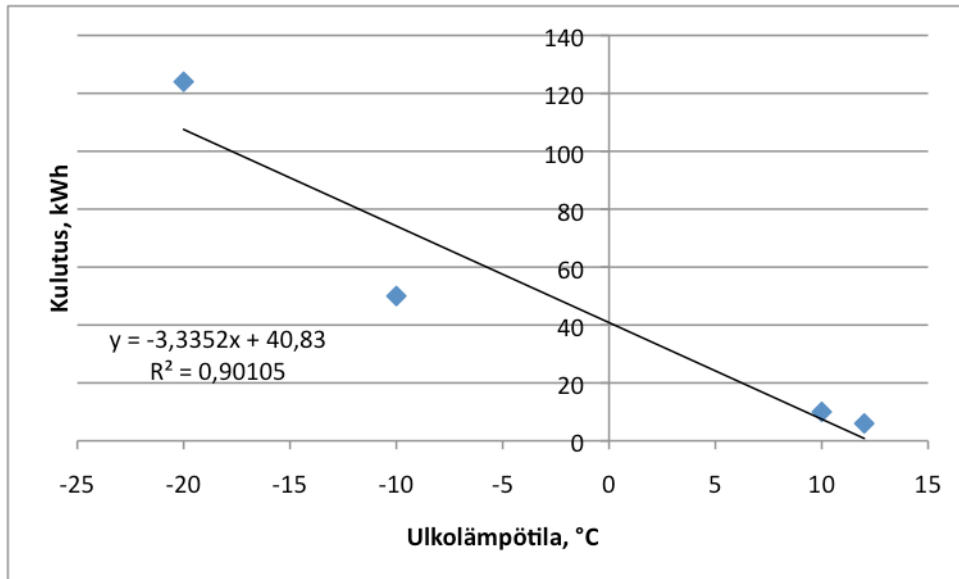
	$x_i$	$y_i$	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
	12	6	14	-41,5	-581	196	1 722
	10	10	12	-37,5	-450	144	1 406
	-10	50	-8	2,5	-20	64	6
	-20	124	-18	76,5	-1 377	324	5 852
$\Sigma$					-2 428	728	8 987

Laskenta on tehty osissa edellisessä taulukossa sen helpottamiseksi. Arvo a saadaan laskemalla kaavan 7 mukaan  $a = -2428 / 728 = -3,335$  ja b kaavan 8 mukaan  $b = 47,5 - (-3,335) * (-2) = 40,83$ . Eli trendikuvaajan kaava on  $y = -3,335x + 40,83$ .

Tämän jälkeen voimme laskea trendikuvaajan korrelaatiokertoimen suhteessa kuvaajaan kaavalla 9.

$$R = \frac{-2428}{\sqrt{728^2 * 8987^2}} = -0,94$$

Korottamalla korrelaatio toiseen potenssiin  $R^2 = 0,90$  saadaan selville, mikä on pisteiden selitysaste suhteessa trendikuvaajaan. Tämä selitysaste on melko tarkka, koska arvon  $R^2$  tulee olla välillä  $0 < R^2 < 1$  ja  $R^2$ :n lähestyessä arvoa 1 on analyysi tarkka. Kuvassa 1 on sama laskenta Excelissä.



Kuva 1. Esimerkilaskelman tulokset kuvaajana

Kuvasta 1 voidaan myös silmämääräisesti arvioida, että laskentaesimerkin tulokset vaikuttavat oikeilta.

Tärkeä huomioon otettava asia on myös jäähdytyksen sääkorjaus. Suomessa ei tehdä jäähdytyksen sääkorjausta, kuten esimerkiksi Iso-Britanniassa ja Yhdysvalloissa. Jäähdytyksen sääkorjaukseen tarvitaan jäähdytystarveluvut, joita Suomessa ei ole saatavilla. Iso-Britanniassa jäähdytystarveluvut laskettiin käyttämällä kaavaa 11 aina 1.5.2011 saakka, minkä jälkeen siirryttiin hieman tarkempaan menetelmään.

$$S_C = \sum \frac{(T_{MAX} - T_{MIN})}{2} - T_P \quad (11)$$

$S_C$  on jäähdytystarveluku, [Kd]

$T_P$  on peruslämpötila, [°C]

$T_{MAX}$  on maksimilämpötila mittausjaksolla, [°C]

$T_{MIN}$  on minimilämpötila mittausjaksolla, [°C]



Uusi laskenta tehdään kaavalla 12.

$$\begin{aligned}
 &T_{MIN} \geq T_P \Rightarrow S_C = 0 \\
 &\sum T_K < T_P \ \& \ T_{MAX} > T_P \Rightarrow 0,5(T_P - T_{MIN}) - 0,25(T_{MAX} - T_P) \\
 &T_K > T_P \ \& \ T_{MIN} > T_P \Rightarrow 0,25(T_P - T_{MIN})
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

$T_P$  on peruslämpötila, [°C]

$T_{MAX}$  on maksimi lämpötila mittausjaksolla, [°C]

$T_{MIN}$  on minimi lämpötila mittausjaksolla, [°C]

$T_K$  on keskilämpötila mittausjaksolla, [°C]

Jäähdytysenergian sääkorjaus tehdään kaavalla 13.

$$Q_{NJ} = \frac{S_{NJ}}{S_{TJ}} * Q_J \tag{13}$$

$Q_{NJ}$  on rakennuksen normeerattu jäähdytysenergiankulutus, [kWh]

$S_{NJ}$  on normaalivuoden jäähdytystarveluku vertailupaikkakunnalla, [Kd]

$S_{TJ}$  on toteutunut jäähdytystarveluku vertailupaikkakunnalla, [Kd]

$Q_J$  on toteutunut jäähdytysenergian kulutus, [kWh]

Jäähdytystarve lisääntyy jatkuvasti Suomessa, ja tällä hetkellä käytössä ei ole sääkorjausmenetelmää jäähdytykselle. Jäähdytystarvelukujen laskentamenetelmiä on myös käytössä muissa Euroopan maissa ja Yhdysvalloissa, koska jäähdytysteho on suoraan riippuvainen ulkolämpötilasta kesällä. Tämän takia sähkönkulutustiedot eivät ole keskenään verrattavia, jos sähkönkulutusta ei sääkorjata. /5/

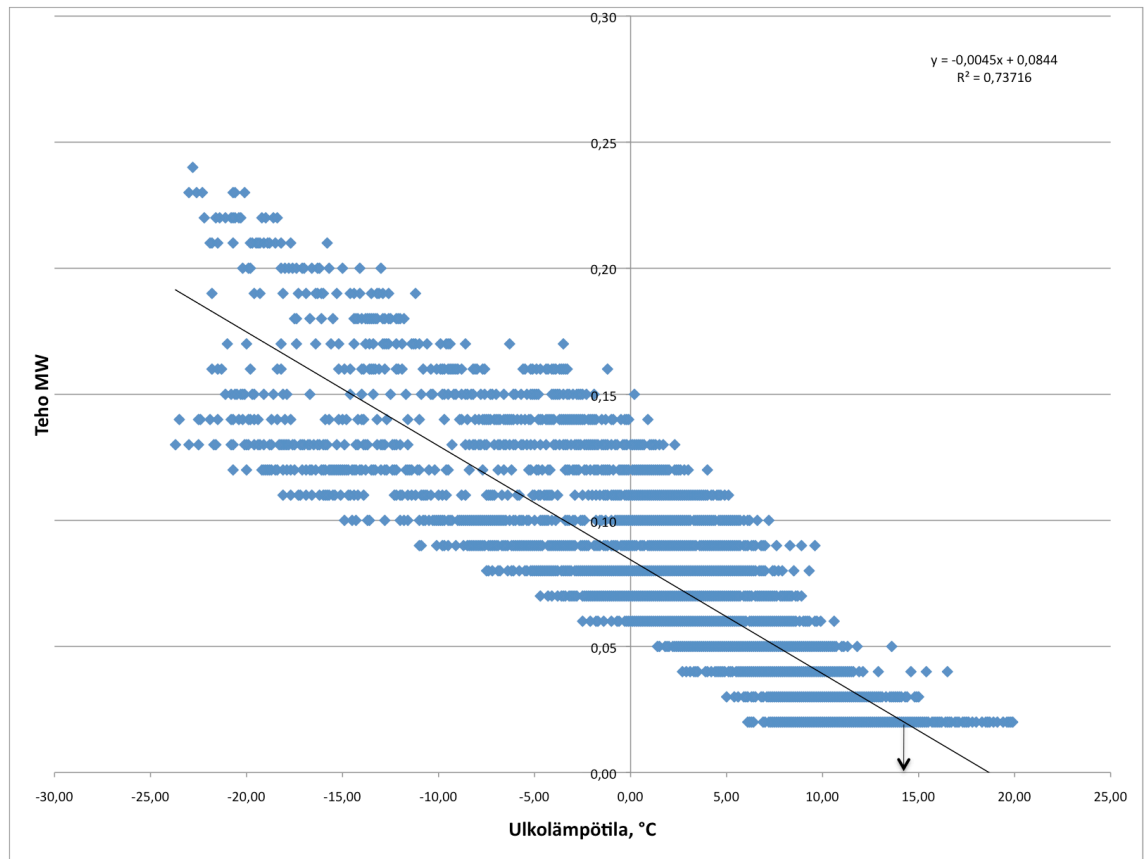
## 4 Sääkorjauksen soveltamiskohteita

Sääkorjausta tehdään Suomessa kiinteistöjen lämmitysenergiankulutuksille, jotta kiinteistöjen kulutustiedot olisivat vertailukelpoisia keskenään. Tässä luvussa kerron soveltamiskohteita, joihin sääkorjausta voitaisiin hyödyntää Suomessa sekä esittelen muita maailmalla käytössä olevia sääkorjausmenetelmiä. Esimerkkeinä mainitsen muun muassa erilaiset sääkorjaustavat eri rakennustyypeille, vaihtoehtoiset sääkorjaustavat lämmitykselle sekä mahdollisen jäähdytyksen sääkorjauksen.

### 4.1 Eri rakennustyypit

Rakennuksille tehdään pääasiallisesti sääkorjaus, jotta niiden kulutukset olisivat vertailukelpoisia eri vuosien ja paikkakuntien välillä. Todellisuudessa eri rakennustyypeillä on eri peruslämpötiloja, ja tämä aiheuttaa virhettä nykyisessä sääkorjausmenetelmässä. Lisäksi laskennassa arvioidaan usein lämmityksen vakio-osuus, koska esimerkiksi toimisto- tai asuinrakennuksissa ei mitata lämpimän käyttöveden kulutusta, ja vaikka mitattaisiin, lukemia ei seurata. Peruslämpötilan selvittäminen ei kuitenkaan ole vaikeaa ja se voidaan tehdä regressioanalyysillä.

Regressioanalyysillä voidaan määrittää rakennuksen todellinen peruslämpötila tai selvittää optimaalinen kulutusvertailutaso rakennuskohtaisesti /10/. Tarkastelussa verrataan rakennuksen kulutuksen tai tehon suhdetta ulkolämpötilaan tai lämmitystarvelukuihin. Kuvassa 2 on esimerkki helsinkiläisen toimistorakennuksen regressioanalyysistä. Kuvassa on 5 752 mittauspistettä, ja siitä voidaan lukea, että analyysin kiinteistön peruslämpötila on +14,2 °C. Peruslämpötila luetaan trendikuvaajan ja vakio osuuden eli yleensä lämpimän käyttöveden kulutusosuuden taitepisteestä kohdasta, jossa alimmat kulutuspisteet leikkaavat trendikuvaajan kanssa. Tulos voidaan myös laskea, kun on tiedossa vakio-osuus, joka voidaan helposti päätellä kesäkuukausien kulutuksista. Laskennassa syötetään ulkolämpötiloja(x) trendikuvaajan kaavaan ( $y = -0,0045x + 0,0844$ ) ja yritetään päästä mahdollisimman lähelle kiinteistön vakio-osuutta (y), jolloin saadaan selville vakio-osuuden ja trendikuvaajan leikkauspiste.



Kuva 2. Regressioanalyysi helsinkiläisestä toimituskiinteistöstä.

Kun kiinteistön todellinen peruslämpötila on selvillä, voidaan sääkorjaus tehdä tarkemmin käyttämällä lämmitystarvelukutaulukkoa S14. Suomessa taulukkoa ei ole saatavilla, koska Suomen yleistynyt ohjeistus on S17, mutta se voidaan laskea asettamalla kaavaan 4 rakennuksen peruslämpötilaksi +14 °C. Laskentaa varten on pyydettävä vertailuvuoden vuorokautiset keskilämpötilat Ilmatieteen laitokselta. Tämän lisäksi tarvitaan päivittäiset keskilämpötilat vuosilta 1971–2000, jotta normaalivuoden lämmitystarvelut S14 voidaan laskea myös kaavalla 4. Tämä tapa on luonnollisesti erittäin raskas toteuttaa itse laskemalla, mutta se voitaisiin toimittaa palveluna Ilmatieteen laitokselta. Analyysiä on tarkasteltu tarkemmin luvussa 6 Säätökorjauksen analysointi.

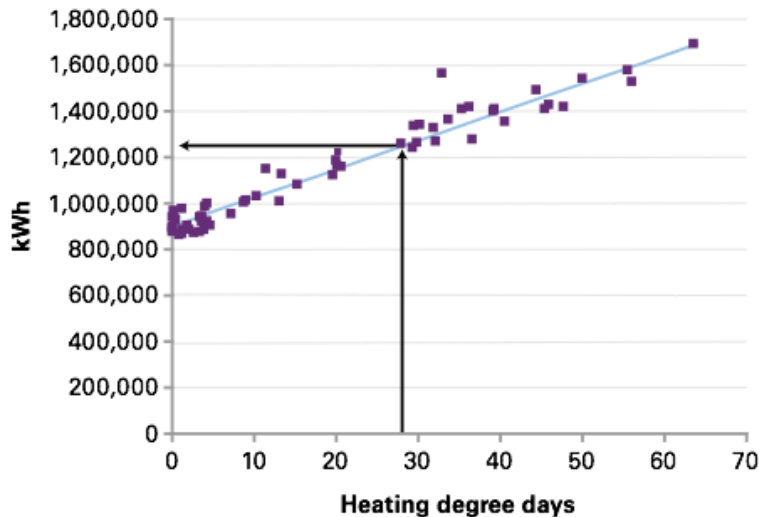
Iso-Britanniassa on saatavilla S15,5-, S18,5- ja S10-lämmitystarvelukutaulukot MetOfficeilta. Yhdysvalloissa on palvelu, josta saa tiedot rakennuskohtaisesti syöttämällä rakennuksen peruslämpötilan NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administrator) maksulliseen Internet-palveluun. MetOffice ja NOAA ovat vastaavanlaisia yrityksiä kuin Suomen Ilmatieteen laitos.

Useissa Euroopan maissa käytetty sääkorjauslaskenta on vastaavanlainen kuin Suomessa. Sääkorjauslaskennassa tulee virhettä lämmitystarveluvuista, arvioidusta vakioosuudesta ja rakennuksen todellisesta peruslämpötilasta. Matalaenergiarakentamisen ja rakennusten energiatehokkuuden parantumisen myötä on peruslämpötilan ja kiinteistöjen käytön huomioonottavia sääkorjausmenetelmiä syytä mielestäni tutkia tarkemmin useimmissa maissa.

#### 4.2 Lämmityksen sääkorjaus

Lämmityksen sääkorjaus on yleisesti käytössä joka puolella maailmaa kulutusvertailussa. Eri maiden väliset sääkorjaukset eroavat laskentamalleiltaan hieman, mutta yleisesti lämmityksen sääkorjaus tehdään samantyyppisesti ja tarkoituksena on sama kaikissa maissa. Tässä on esitelty vaihtoehtoinen tapa muodostaa vertailutaso rakennuksen kulutuksille. Tarkkuus tässä vertailumallissa riippuu näytteiden määrästä ja tietenkin mittaustarkkuudesta. Vertailutapa on tietävästi käytössä ainakin englantilaisella energiatehokkuutta edistävällä yrityksellä Carbon Trustilla sekä Schneider Electric Buildings Finland Oy:llä, joka tekee energiatehokkuushankkeita julkisella, teollisella ja yksityisellä sektorilla. Yhdysvalloissa on vastaavantyyppinen käytäntö, jonka ohjeistuksen on laatinut National Oceanic and Atmospheric Administrator. Käytännöissä on pieniä eroja eri toiminta- ja laskentamallien välillä. /11/

Tässä vaihtoehtoisessa laskentatavassa hyödynnetään useista eri kulutustiedoista ja lämmitystarveluvuista tehtyä regressioanalyysiä rakennustyyppin peruskulutustason määrittämiseen. Analyysin perusteella saadaan muodostettua trendikäyrä, jolla voidaan määrittää vertailutaso kyseisen rakennuksen kulutuksille. Etuna tässä mallissa on se, että vakio-osuutta ei tarvitse arvioida, vaan se tulee automaattisesti huomioitua trendikuvaajan kaavassa. Kuvasta 3 nähdään, miten vertailukulutustaso voidaan selvittää trendikäyrän ja muodostuvan lämmitystarveluvun perusteella. Vertailu voidaan tehdä eri ajanjaksoilla ja määrittämällä vertailutasot jokaiselle kuukaudelle erikseen. /11/



Kuva 3. Kulutus pisteiden ja lämmitystarvelukujen regressioanalyysi /11/

Analyysi mahdollistaa myös häiritsevää hajontaa aiheuttavien yksittäisten pisteiden poistamisen laskennasta, mikä pienentää vertailutason virhettä. Tämän tyyppistä virhettä ei havaita samalla tarkkuudella nykyisellä sääkorjausmenetelmällä. Kuukausikoh-  
taisessa tarkastelussa saattaa ilmetä suuriakin eroavaisuuksia. Palaan tähän laskenta-  
malliin luvussa 6 Sääkorjauksen analysointi sekä luvussa 7 Muita mahdollisia vaihtoehtoja  
sääkorjaukseen.

#### 4.3 Sähkön sääkorjaus

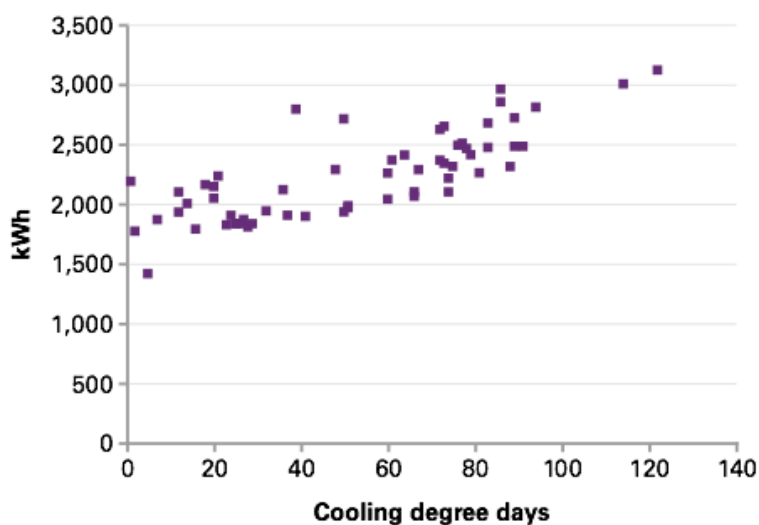
Suomessa sähkön kulutukselle ei tehdä sääkorjausta. Yleisimpiä syitä tähän ovat muun  
muassa se, että sähkölämmitystä ei ole mitattu erikseen, jäähdytyksen lämmitystarve-  
lukuja ei ole saatavilla ja oletetaan, että Suomessa jäähdytystarpeet ovat niin pieniä,  
että tähän ei ole tarvetta. Muissa maissa tehdään myös jäähdytyksen sääkorjausta,  
koska jäähdytysjärjestelmät toimivat usein sääriippuvaisesti /5/. Suomessa kuitenkin  
todellisuus on se, että vanhojen kiinteistöjen jäähdytystarve toimistoissa, kauppakes-  
kuksissa ja julkisissa rakennuksissa lisääntyy jatkuvasti ja sääkorjaukselle on käyttöä.

Vuonna 2007 käyttöön tullessa energiatodistuksessa on jo huomattu, että jäähdy-  
tysenergian mittaaminen on tärkeää ja ympäristöministeriö kannustaakin kiinteistöjen  
omistajat rakentamaan erilliset mittaukset kiinteistöjen jäähdytysjärjestelmille. Ympä-  
ristöministeriön yli-insinööri Maarit Haakana totesi Helsingissä pidetyssä energiatodis-

tusseminaarissa 18.3.2010, että jäähdytyksen laskentamenetelmälle on tarkoituksella määritetty erittäin suuri virhe, jolla pyritään kannustamaan kiinteistöjen omistajia asentamaan erilliset jäähdytysmittaukset, täten kiinteistöjen energialuokka saataisiin paremmaksi ja laskenta todelliselle tasolle. /12/

Sääkorjauksen voisi tehdä perinteisellä mallilla myös Suomen jäähdytysjärjestelmille, jos olemassa olisi paikkakuntaakohtaiset jäähdytystarveluvut. Tarkempi analyysi ja lopputulos saataisiin kuitenkin regressioanalyysimallilla, sillä se huomioisi paremmin tässä tapauksessa sähkön pohjakuorman eli vakio-osuuden.

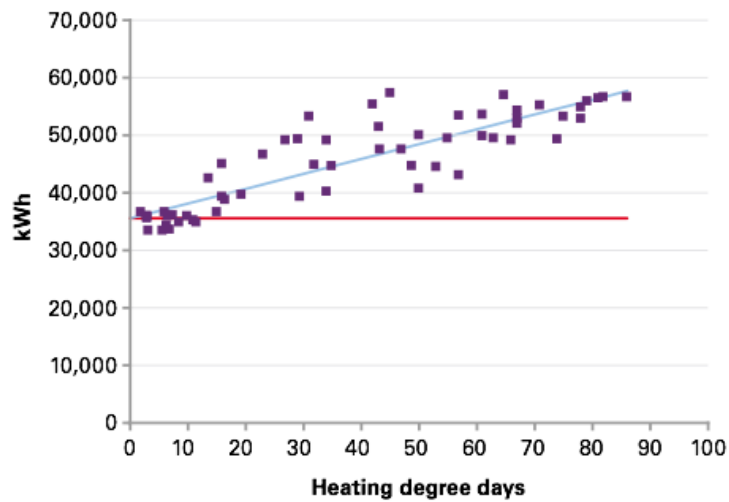
Regressioanalyysi mahdollistaa myös sähkönkulutuksen analysoinnin jäähdytystarvelukujen perusteella, jolloin voidaan tarkastella, käyttäytyykö sähkönkulutus kiinteistössä säänvaihteluiden mukaan. Kuvassa 4 on esitetty jäähdytyksen vertailupisteet jäähdytystarvelukujen suhteen.



Kuva 4. Jäähdytyksen vertailupisteet kuvaajassa jäähdytystarvelukujen suhteen /11/

Kuvasta 4 voidaan todeta, että jäähdytyksen aiheuttama sähkönkulutus on säästä riippuvainen ja lineaarista, kuten lämmitysenergian kulutuskin. Lineaarisuus mahdollistaa laskentamallin hyödyntämisen vertailutasojen määrittämisessä. /11/

Sähkön sääkorjausta voidaan hyödyntää myös muussa analysoinnissa, jos käytetään regressioanalyysimallia. Tästä esimerkkinä on kuva 5, joka on kohteesta, jossa on kaukolämmitys ja jossa ei ollut suunnitelmien mukaan yhtään sähköpatteria.



Kuva 5. Sähkönkulutuksen vertailupisteet suhteessa lämmitystarvelukuihin /11/.

Kuvassa 5 analysoitavassa kohteessa sähkönkulutus seurasi lineaarisesti säänvaihteluita ja todettiin, että asukkaat lisäsivät itse huoneistoihin sähköpattereita lämmityskauden alussa. Sininen viiva kuvaa säänvaihtelun trendiviivaa ja punainen sähkönkulutuksen vakio-osuutta /13/.

## 5 Kulutusseuranta

Kulutusseurannan keskeisimpiä tarkoituksia on antaa mahdollisuus seurata ja verrata kiinteistöjen kulutuksia määritetyllä ajanjaksolla. Lisäksi kulutusseuranta antaa mahdollisuuden verrata eri kiinteistöjen kulutusta eri paikkakunnilla sekä riittävän tarkalla seurannalla voidaan myös todeta ongelmatilanteet ajoissa.

Kulutusseurantaa ei tehdä Suomessa kaikkien kiinteistöjen osalta, mutta sen käyttö on lisääntynyt viime vuosikymmenellä. Kiinteistöomistajien ymmärrys kulutusseurannasta on lisääntynyt sitä mukaa kuin energiatodistus on tullut pakolliseksi ja energiahinnat ovat nousseet. Suomessa kulutusseurantaa ei tehdä kaikista kiinteistöistä, mutta kulutustiedot on kuitenkin usein saatavilla kuukausitarkkuudella. Tällöin seuranta on mahdollista aloittaa helposti.

### 5.1 Kulutuksen mittaamenetelmät

Kulutusseurannan lähtökohta on mittaustieto. Mittalaitetoimittajia on useita ja usein energiayhtiöt toimittavat kaukolämpö- ja sähkömittarit. Suomen kiinteistökanta on erittäin kirjavaa eri vuosikymmeniltä sekä kiinteistötekniikka ja mittarijärjestelmät ovat myös useilta eri vuosikymmeniltä. Nykyään kaikki asennettavat mittalaitteet ovat kaukoluettavia. Energialaitoksilla on kuitenkin vielä paljon mittareita, joita luetaan käsin, ja tämä on yksi syy, miksi kulutusseuranta on hankalaa monissa rakennuksissa.

Nykyaikaiset etäluentajärjestelmät antavat asiakkaille mahdollisuuden seurata kiinteistöjensä vuosittaisia kulutuksia energialaitosten tarjoamilla verkkopalveluilla. Esimerkiksi Helsingin Energia tarjoaa asiakkailleen palvelua, josta on saatavissa kiinteistöjen kulutustietojen seurantaraportit.

Lisäksi kulutusseurantaa tarjoavat palveluna eri yritykset, joista tunnettuja ovat Energiakolmio Oy:n Enerkey palvelu, Schneider Electric Buildings Finland Oy:n Center- ja ePalvelu sekä Suomen Talokeskus Oy:n kulutusseurantapalvelu. Kulutusseurantaa tarjoavia yrityksiä on varmasti kymmeniä.



### 5.1.1 Kaukolämpömittarit

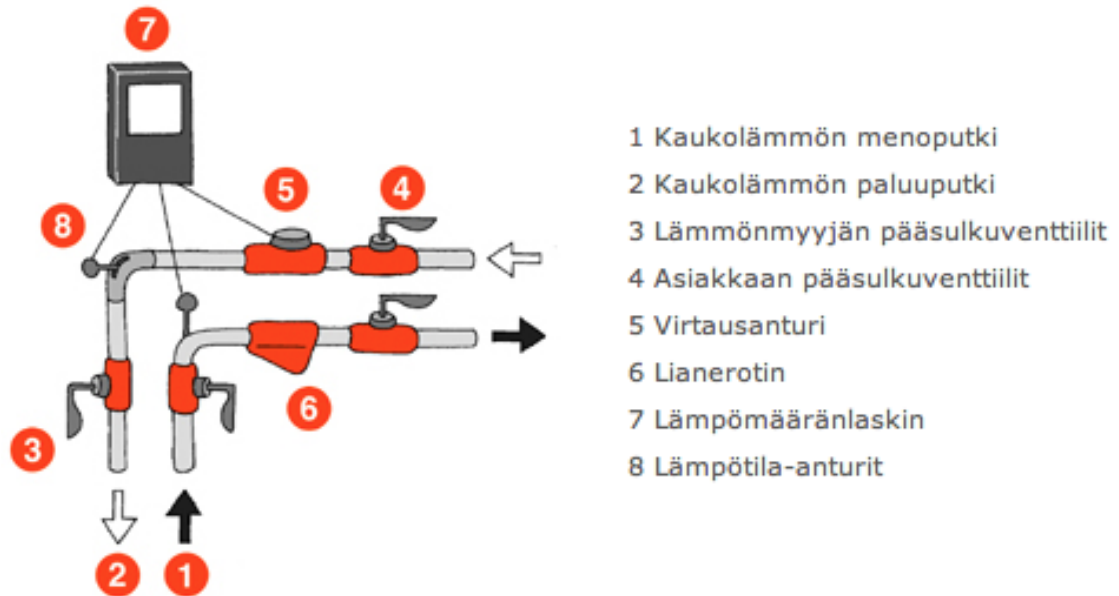
Suomessa kaukolämpömittauksessa ovat yleistyneet Kamstrupin mittalaitteet (kuva 6), joiden hinta suhteessa laatuun on hyvä. Kiinteistöillä on joskus käytössä omia kauko-luentajärjestelmiä kaukolämpöyhdistysten kaukoluennan lisäksi, ja niissä käytetään pääasiassa Enermet-pulssinlukulaitteita.



Kuva 6. Mittalaite Kamstrup /14/

Kamstrupin mittalaite kerää kulutustietoja pääasiassa päivätarkkuudella mittarin muistiin, mutta lisävarusteilla mittalaitteet keräävät tarvittaessa tuntitehokulutustietoa, mikä antaa mahdollisuuden tarkempaan kulutusseurantaan ja mahdollisesti myös kiinteistön peruslämpötilan määrittämiseen /14/. Muita mittarivalmistajia kaukolämpöpuolella ovat muun muassa Landis+Gyr ja Pollu Therm. Mittarivalmistajia on monia, mutta Landis+Gyr- ja Kamstrup-mittalaitteita käyttää muun muassa Helsingin Energia.

Kuvassa 7 havainnollistetaan kaukolämpömittauksen osat. Mittaus koostuu useasta osasta: virtausanturista, meno- ja paluuveden lämpötilamittareista ja mittaustiedon keruulaiteesta.



Kuva 7. Kaukolämpömittausjärjestelmä /15/.

Mittari laskee kulutuksen kaavan 14 mukaisesti yhteen, mistä muodostuu Wh, kWh tai MWh lukema tarkkuudesta riippuen.

$$Q = \sum q_{ve} * c_p * \rho * (T_{et} - T_{ep}) * dt \quad (14)$$

Q on lämmitysenergian kulutus, [kWh]

$q_{ve}$  on vesivirta, [ $\text{dm}^3/\text{s}$ ]

$c_p$  on veden ominaislämpö, [ $\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$ ]

$\rho$  on veden tiheys paluuveden lämpötilassa, [ $\text{kg/dm}^3$ ]

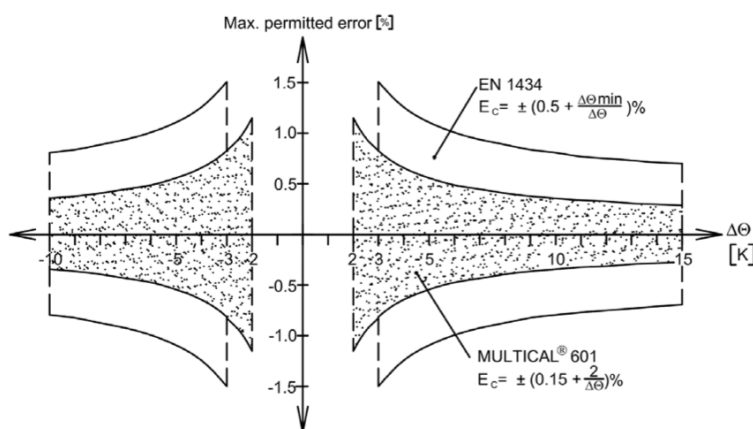
$T_{et}$  on menolämpötila, [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_{ep}$  on paluulämpötila, [ $^\circ\text{C}$ ]

dt on aika, [h]

Kamstrup ilmoittaa mittalaitteen virheeksi  $EC \pm (0,5 + \Delta\theta_{\min} / \Delta\theta) \%$ , mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että mittalaitteen virhe on riippuvainen lämpötilasta. Käytännössä virhe on 0,5 lisättynä  $\Delta\theta_{\min} / \Delta\theta$ , mikä on pienin mitattu lämpötilaero jaettuna mittauksenaikaisella lämpötilaerolla, ja mitä pienemmäksi lämpötilaero menee, sen suurempi virhe mittauksessa tulee. Yleensä lämpötilaero kaukolämpömittauksessa on vähintään

25–30 °C, jolloin virhe jää todella pieneksi mittauksessa. Kuva 8 kuvaa mittalaitteen virhevaihtelua eri lämpötiloilla. /14/



Kuva 8. Kamstrup-mittalaitteen virhekuvaaja /14/

Kuvassa 8 on kahden eri mittalaitteen virhe. Tummempi on Multical 601:n virhe ja vaaleampi EN1434:n virhe. Kuvasta nähdään vaaka-akselilla, että kun lämpötilaero on lähellä 0 °C:ta, virhe suurenee 1,2–1,5 %:lla. Tämä virhe on luettavissa pystyakselilta. Kun lämpötilaero kasvaa yli +15 °C:seen, pienenee virhe lähelle 0,5 %:a, jolloin lämpötilaero  $\Delta\Theta_{\min} / \Delta\Theta$  kaavassa ei juurikaan vaikuta virheeseen.

### 5.1.2 Sähkömittarit

Sähkömittaritoimittajia on paljon, mutta energiayhtiöt suosivat nykyään Aidon, Iskran ja Landis+Gyrin valmistamia mittalaitteita niiden etäluenta- ja etäohjausominaisuuksien takia. Kiinteistöissä saattaa olla myös alamittausjärjestelmiä tai yksittäisiä alamittauksia kiinteistönomistajan käytössä, joita toimittavat muun muassa Schneider Electric Oy, ABB Oy ja moni muu yritys. Sähkömittauksen näytteenottoväli vaihtelee tunneista muutamiin millisekun teihin. Millisekuntitarkkuudella seurattavia mittalaitteita kutsutaan useimmiten sähköverkkoanalysaattoreiksi, koska niiden tiedoilla on mahdollisuus analysoida useita sähköverkon suureita. Kuvassa 9 on esimerkkikuva etäluettavasta sähköenergiamittarista.



Kuva 9. Mittalaite Landis+Gyr /16/

Sähkömittarit laskevat sähkötehoa kaavan 15 mukaan. Lopputulokseen saattaa kuitenkin vaikuttaa mittarin kerroin, joka tulee virtamuuntajien ja mittalaitteen välisestä suhteesta. Lisäksi mittaustulokseen vaikuttaa myös mittausrvirhe, mikä riippuu mittarin mallista. Sähkömittareiden virheelle on asetettu oma standardi EN 50470-3, jonka mukaan eri sähkömittarien virheet saavat olla luokittain seuraavat: Class A  $\pm 1 \%$ , Class B  $\pm 0,8 \%$ , Class C  $\pm 0,5 \%$  ja Class D  $\pm 0,4 \%$ . /16/

$$E = \sum U * I * dt \quad (15)$$

E on sähköenergian kulutus, [kWh]

I on virta, [A]

U on jännite, [V]

dt on aika, [h]

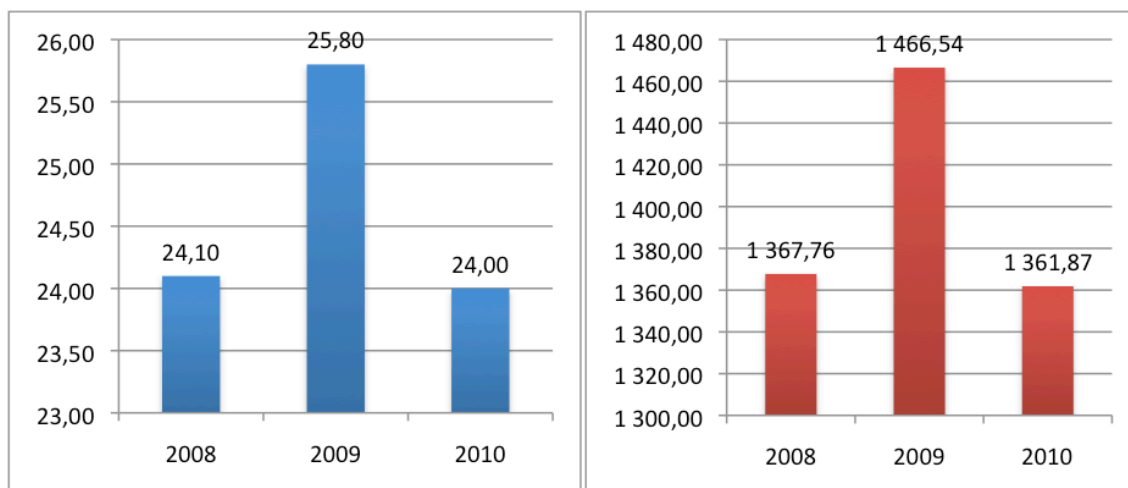
## 5.2 Kulutuksen vuosiseuranta

Kulutuksen vuosiseuranta on hyvin yleinen tapa seurata kiinteistöjen kulutusta Suomessa, ja tämä johtuu pääasiassa joko siitä, että kulutustiedoista ei ole tarkempaa kiinteistökohtaista tietoa tai rakennuksista ei ole koskaan aiemmin tehty kulutusseuranta. Vuositasoinen kulutusseuranta on kuitenkin erittäin epätarkka tapa seurata ja analysoida kiinteistön kulutustietoja, ja todellisten kulutuspiikkien tunnistaminen on mah-

dotonta. Vuosikulutustiedosta saa korkeintaan vuositason kulutusvertailun. Tiedoista ei kuitenkaan ole hyötyä, jos esimerkiksi rakennus on täynnä ravintoloita ja suurin osa kiinteistön kulutuksesta tulee lämpimästä käyttövedestä.

Vuosiseuranta on edullisin kulutusseurantavaihtoehto, koska mittaustietoa on vähän. Mittaustiedon säilyttäminen ei vaadi järjestelmiltä paljon ja raportointi on suppeaa, koska analysoitavaa tietoa on vähän. Näistä voidaan korkeintaan todeta, onko kiinteistön ominaiskulutus korkea ja voidaan vertailla vuositason sääkorjattuja kulutuslukemia. Syytä saadaan harvemmin selville kulutustietojen perusteella korkeaan ominaiskulutukseen. Kuvassa 10 on esimerkki vuosiraportista helsinkiläisessä kauppakeskuksessa.

Vuosi	2008	2009	2010
Mitattu kulutus MWh	1 148,40	1 328,10	1 454,50
Normeerattu kulutus MWh	1 367,76	1 466,54	1 361,87
Ominaiskulutus norm. kWh/m <sup>3</sup>	24,10	25,80	24,00



Kuva 10. Vuosikulutuksen seurantaraportti helsinkiläisestä kauppakeskuksesta

### 5.3 Kulutuksen kuukausiseuranta

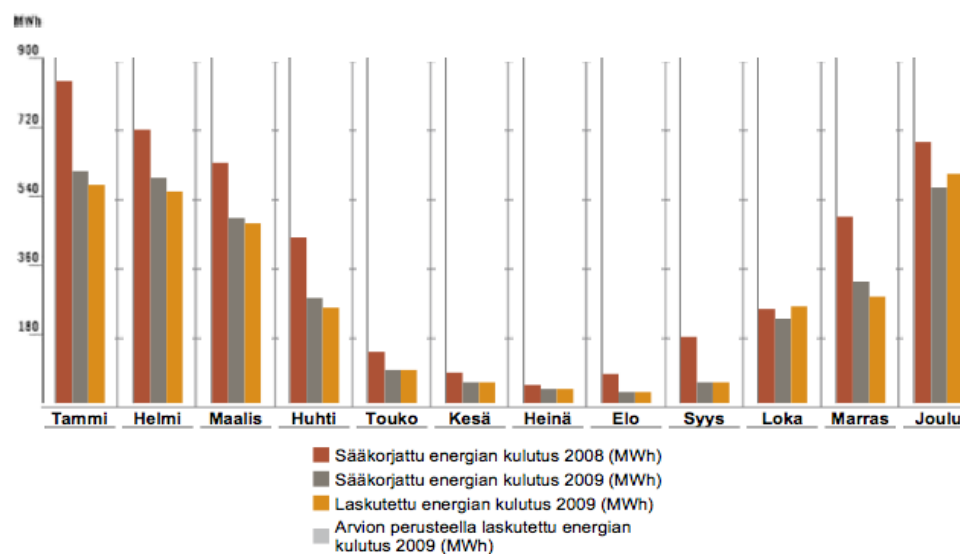
Kuukausikohtainen kulutusseuranta on yleistynyt viime vuosikymmenien aikana, ja kuukausikohtainen tarkastelu on jo huomattavasti tarkempaa kuin vuositasoinen seuranta. Mittaustietoa on enemmän, ja kulutusseurannan tarkkuus paranee. Kuten kaikissa matemaattisissa funktioissa, täydellisyyteen päästään lähestymällä ääretöntä määrää tarkkoja arvoja. Mitatusta tiedosta ei kuitenkaan ole mitään hyötyä, jos sitä ei seu-

rata, ja tämän takia kulutusseuranta on olennainen osa nykyaikaista kiinteistöpalvelua. On kuitenkin huomioitava, että suurimmassa osassa Suomen rakennuksista ei ole kulutusseurantaa. Kulutusseurannan puutteellisuus johtuu pääasiassa siitä, että kulutustietojen luovuttamista ei ole vaadittu energiayhtiöiltä ennen vuotta 2010, jolloin astui voimaan laki energiamarkkinoilla toimivien yritysten energiatehokkuuspalveluista. /21/

Kuukausitasoinen kulutusseuranta mahdollistaa kiinteistön säännöllisen energiatehokkuuden seurannan ja energiatehokkaan käytön, koska ongelmatilanteisiin voidaan puuttua jo seuraavalla kulutusjaksolla. Kuukausikohtaisessa kulutusseurannassa mitattu tieto lisääntyy, ja analysoitavaa dataa on huomattavasti enemmän. Vuodenajat jakautuvat neljään osaan, joten tarkastelujaksoiksi voidaan ottaa vuodenajat tai kuukausittainen jakso. Näin ollen raportoinnista ja analysoinnista on enemmän hyötyä kiinteistön omistajalle. Kuvassa 11 on esimerkki kuukausittaisesta kulutusseurantaraportista.

#### Kuukausittainen kulutusraportti vuodelle 2009

##### Lämpöenergian kulutus kuukausittain



##### Energia megawattitunteina:

Vuosi		Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	Yhteensä
2009	Laskutettu kulutus MWh	565,3	547,5	467,1	244,9	83,3	50,8	35,6	25,8	50,5	250,4	276,5	597,3	3 195,0
2009	Sääkorjattu kulutus MWh	602,6	585,5	480,8	271,4	83,3	50,8	35,6	25,8	50,5	216,1	314,9	558,4	3 275,7
2008	Sääkorjattu kulutus MWh	838,2	709,5	625,4	428,5	132,3	77,7	45,3	75,2	171,0	243,3	483,9	678,2	4 508,4
2009	Keskilämpötila °C	-2,8	-3,6	-0,9	4,5	11,0	14,1	17,2	16,7	13,5	4,2	3,6	-3,6	6,2
2009	Lämmitystarveluku	613	576	556	357	105	37	5	0	52	396	402	639	3 739

Kuva 11. Kuukausikulutus seurantaraportti Helsingin Energian Sävel-palvelussa /19/

## 5.4 Kulutuksen tuntitehoseuranta

Tuntitehon mittaaminen on yleistynyt vasta viimevuosien aikana, kun kaukolämpömittareita on kehitetty. Pääsyyinä tuntitehomittauksen yleistymiseen on mittalaitteiden kehitys kaukolämpöpuolella. Helsingin Energialla on tällä hetkellä n. 40 000 kiinteistöä, joissa on kaukolämpömittareissa tuntitehomittausominaisuus. Jos tätä määrää verrataan Suomen noin 2 miljoonaan kiinteistöön, ei määrä ole kovinkaan korkea. Sähkölaitteissa tuntimittaus on ollut käytössä jo pidemmän aikaa.

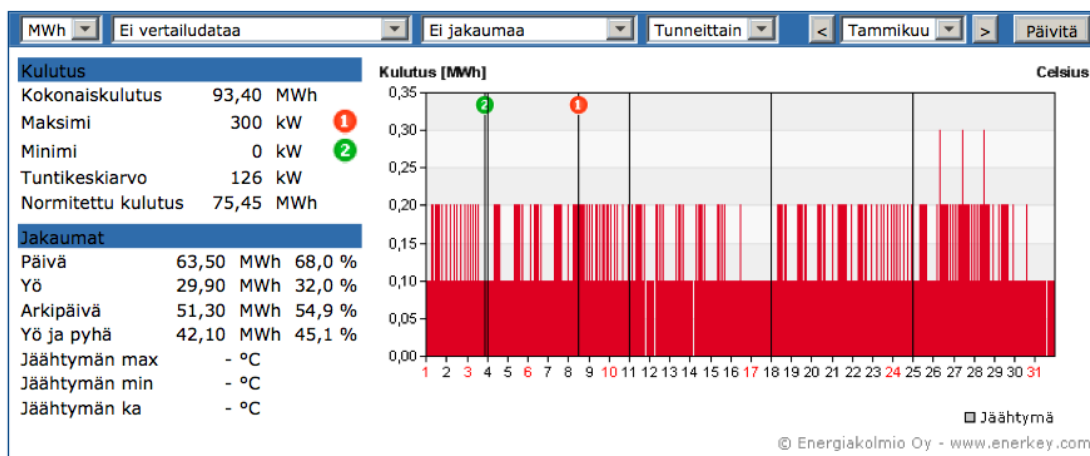
Sähkötalon mittauksessa ja analysoinnissa on käytetty tuntitehomittauksia jo pitkään. Tuntitehomittaus auttaa analysoimaan kiinteistöjä tarkasti. Tuntitarkkuudella mitattaessa on mittaustiedosta mahdollisuus erottaa ilmanvaihtokoneiden käynnistysajat, valaistuksen käynnistysajat ja seurata kiinteistön käyttäytymistä päivän aikana. Vikatilanteiden sattuessa voidaan selvittää tarkat ajankohdat, koska vika on sattunut. Tuntitehoseuranta mahdollistaa myös erittäin tarkan analyysin kiinteistön peruslämpötilasta. Kuvasssa 12 on esimerkki Energiakolmio Oy:n tuntitehokulutusseurantatiedosta. Kohteena on IVG Polar Oy:n omistama kiinteistö Helsingin Radiokatu 20. IVG Polar Oy hyödyntää uutta tuntimittaustekniikkaa kaikissa kiinteistöissään.

### Kuukausiraportti, Kaukolämpö (Tammikuu 2010)

35665

19.2.2012

Kohde	KOY Helsingin Latokartanontie 7	Katuosoite	Latokartanontie 7, 00700 HELSINKI
Yritys	IVG Polar Oy	Omistaja	-
Lämmitysmuoto	Kaukolämpö	Kiinteistötyyppi	15 Toimistorakennukset
		Valmistumisvuosi	-



Kuva 12. Tuntitehokulutusseurantatiedot Energiakolmio Oy:n Enerkey-palvelusta /20/

## 6 Sääkorjauksen analysointi

Sääkorjausta sekä siihen vaikuttavia komponentteja ja muuttujia on paljon. Tämän vuoksi yritän selkeyttää asiaa ja käsitellä sitä pienemmissä osa-alueissa. Tavoitteena on tuottaa mahdollisimman laaja-alainen näkemys nykyisten sääkorjausmenetelmien muuttujista lukijalle.

### 6.1 Soveltamisalat

Sääkorjausta sovelletaan monella eri osa-alueella, ja mielestäni ainakin seuraavissa osa-alueissa on asioita, joita tulisi tarkastella hieman lähemmin.

#### 6.1.1 Rakennustyytit

Peruslämpötila vaihtelee merkittävästi eri kiinteistötyypeissä. Peruslämpötilat vaihtelevat varastorakennuksen +10 °C:ta uimahallin +25 °C:seen. Peruslämpötila on muuttujana kaikissa sääkorjauslaskentamenetelmissä ja tämän takia tutkin tässä työssä erilaisten kiinteistöjen peruslämpötiloja Helsingissä. Suomessa laskelmissa oletetaan kaikkien kiinteistöjen peruslämpötilaksi +17 °C:ta.

Epätarkkuutta laskelmissa kuitenkin syntyy silloin, kun rakennuksen sisälämpötila on yli tai alle +21 °C, kuten uimahalleissa, jäähalleissa, tehdasrakennuksissa, osassa toimistorakennuksia, urheiluhalleissa, kauppakeskuksissa ja varastorakennuksissa. Näiden rakennustyyppien todellinen sisälämpötila saattaa olla 15–31 °C. Tässä tapauksessa sääkorjauksessa käytettyyn olettamukseen siitä, että kaikkien kiinteistöjen sisälämpötila on +21 °C, tulee siten suurimmillaan jopa kymmenen asteen virhe.

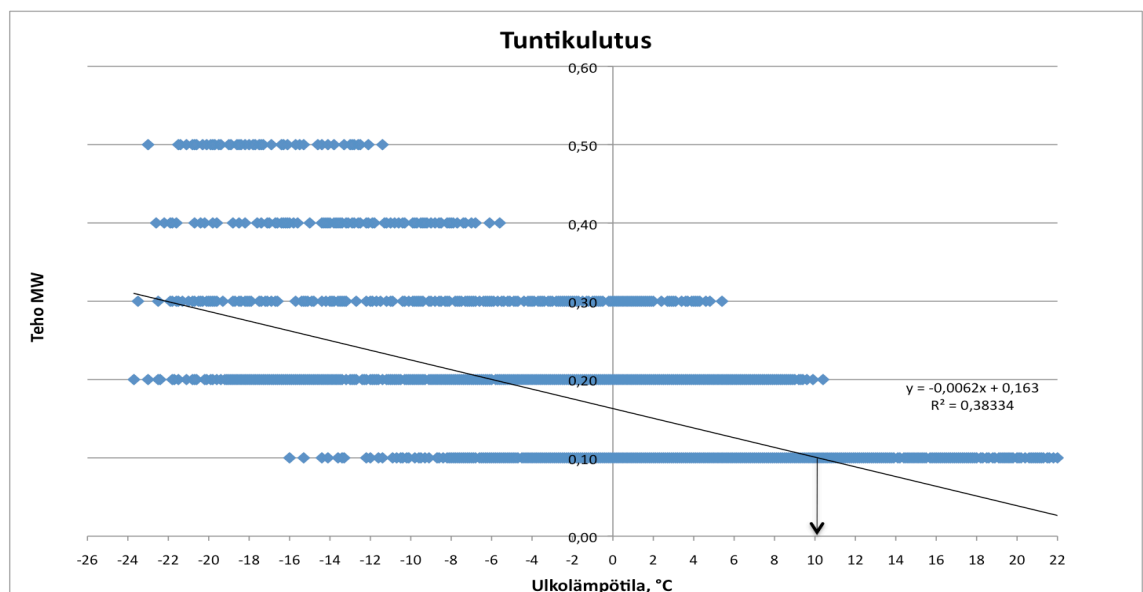
Epätarkkuutta aiheuttavat myös eri kiinteistötyypeissä syntyvät ulkopuoliset kuormat, joiden vaikutus on yli 4 °C. Esimerkiksi kauppakeskuksissa ihmiskuorma käyttöajalla saattaa vaikuttaa 9 °C lämmitystarpeeseen ja tehdasrakennuksissa tuotannon laitteet saattavat vaikuttaa jopa 15 °C kiinteistön lämmitystarpeeseen. Toimistorakennuksissa tietokoneiden sekä valaistuksen lisääntyminen on todettavasti vaikuttanut 9 °C kiinteis-



tön lämmitystarpeeseen. Lisäksi laskelmien tarkkuuteen vaikuttaa, jos kiinteistöissä on käytössä yölämpötilapudotus tai päivälämpötilapudotus, jota käytetään usein koulurakennuksissa. Edelleen kiinteistön peruslämpötilaan ja lämmitystarpeeseen vaikuttaa myös kiinteistön tiiveys. Se vaikuttaa myös kunkin kiinteistön peruslämpötilaan eli ulkolämpötilaan, jolloin kiinteistön lämmitystarve alkaa.

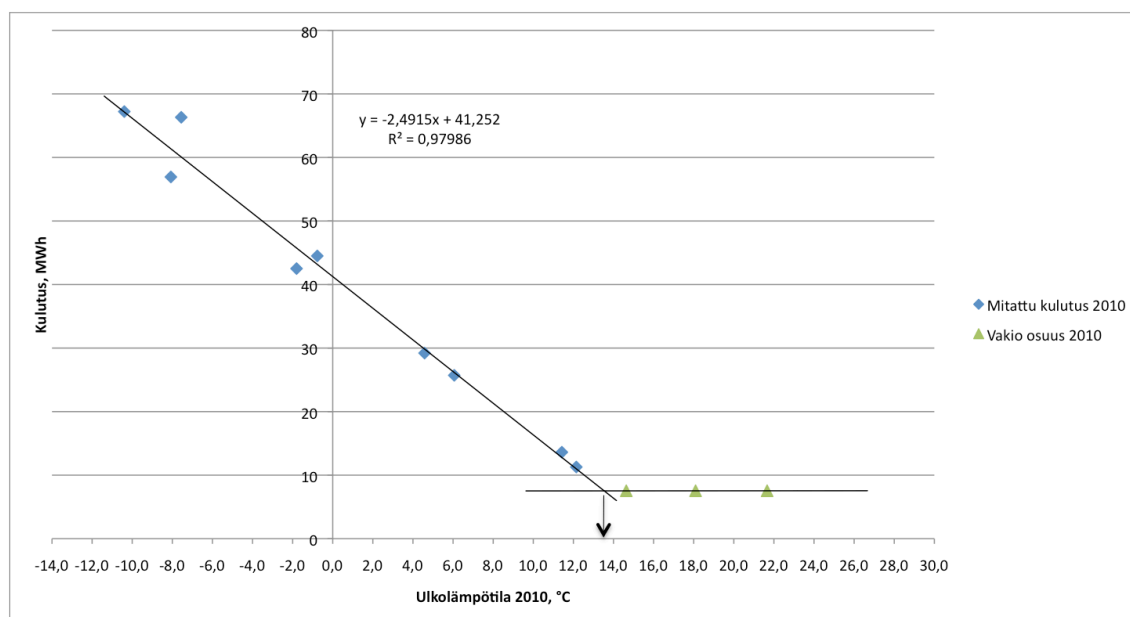
Olen tehnyt muutamia regressioanalyyskejä, joiden tuloksia olen analysoinut ja samalla määrittänyt analyysien perusteella kiinteistöjen todelliset peruslämpötilat. Olen tehnyt myös vertailuja mitattujen ja sääkorjattujen kulutustietojen välillä muutamissa kiinteistötyypeissä Helsingissä. Mittaustietona olen käyttänyt tunnitaisia ja kuukausittaisia keskiarvoja Ilmatieteen laitokselta, Helsingin Energialta, IVG Polar Oy:ltä ja Schneider Electric Buildings Finland Oy:ltä saatujen mittaustietojen perusteella. Mitä tiheämmäksi mittaussjaksot menevät, sen epätarkempi ja hankalampi analyysistä tulee. Tämän takia olenkin tehnyt vertailuja eri mittaussjaksoilla.

Seuraavat tutkimukset ovat regressioanalyyskejä, joissa selvitetään tunnin aikajaksolla ulkolämpötilan ja lämmitystehon perusteella kiinteistöjen todellisia peruslämpötiloja. Koska analysoitavia pisteitä oli tuhansia tunnin aikajaksolla mitattuna, on vertailun vuoksi tehty kiinteistöistä myös kuukausijaksolla sama tarkastelu, jotta saadaan vertailutaso eri menetelmille. Kuvassa 13 analysoidaan helsinkiläisen toimistokiinteistön Kumpulantien peruslämpötilaa.



Kuva 13. Toimistorakennus Kumpulantie 3:n tuntikulutusvertailu.

Kuvan 13 analyysi on tehty 4 957 tuntimittaustiedon perusteella. Tuntimittaustiedoista on poistettu kesäajan tunnit ja epäonnistuneet mittauspulssit. Kuvaajan selitysasteesta (0,38) nähdään, että analyysi ei ole kovinkaan tarkka ja mittaustarkkuus on ainoastaan 0,1 MWh. Kuvasta voidaan päätellä, että kiinteistön peruslämpötila asettuu 9–15 °C:n tuntumaan. Huonon selitysasteen takia trendikuvaajan kulmakerroin voi muuttua kumpaankin suuntaan tahansa, jolloin peruslämpötila-arvo alimpien kulutuspisteiden ja trendikuvaajan leikkauspisteessä muuttuu. Edellisen analyysin epätarkkuuden takia kuvassa 14 on tehty regressioanalyysi kuukausikulutustietojen perusteella.

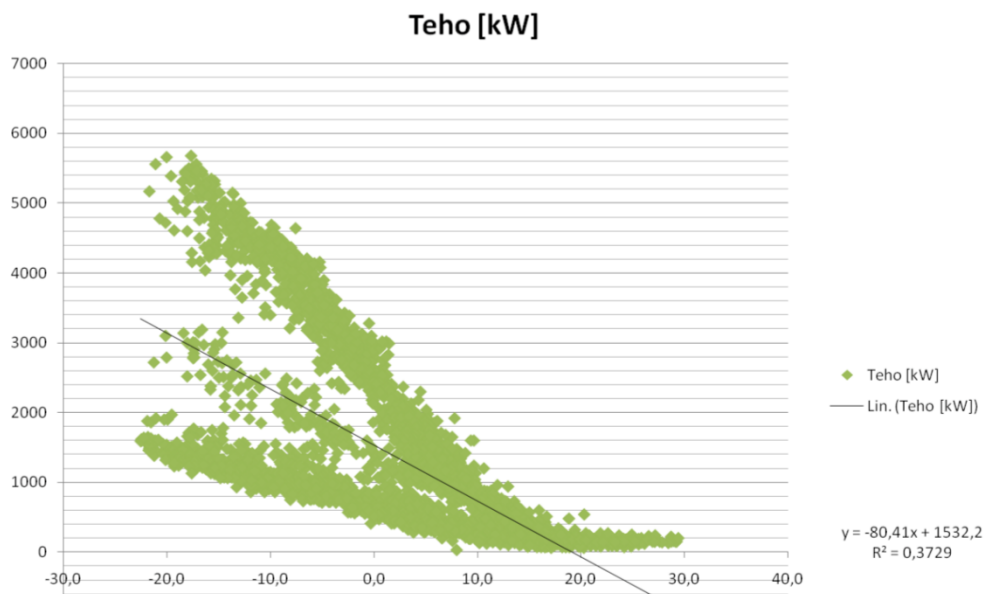


Kuva 14. Toimistorakennus Kumpulantie 3:n kuukausikulutusvertailu.

Kuvan 14 selitysaste on mitattujen kulutuspisteiden regressioanalyysissä 0,97, mikä kertoo tarkasta analyysistä. Tämän analyysin perusteella voimme todeta mitattujen kulutustietojen perusteella, että kiinteistön todellinen peruslämpötila on +13,5 °C. Nuoli kuvaa lämmityksen taitepistettä, josta luetaan kiinteistön peruslämpötila. Nuolen kohdalla ulkolämpötila alkaa vaikuttaa kiinteistön lämmitysenergian kulutukseen, jolloin ulkolämpötilan laskiessa lämmitysenergiankulutus nousee. Vakio-osuus on päätelty kiinteistön kesäkuukausien kulutusten perusteella.

Näiden edellä nähtyjen kahdella eri aikajaksolla tehtyjen regressioanalyysien kuukausijaksot eivät ole samat, koska tuntitehomittaustiedoissa oli tuhansia epäonnistuneita mittaustietoja, jotka on suodatettu pois tässä regressioanalyysissä. Suodatus vaikutti myös analyysin tarkkuuteen.

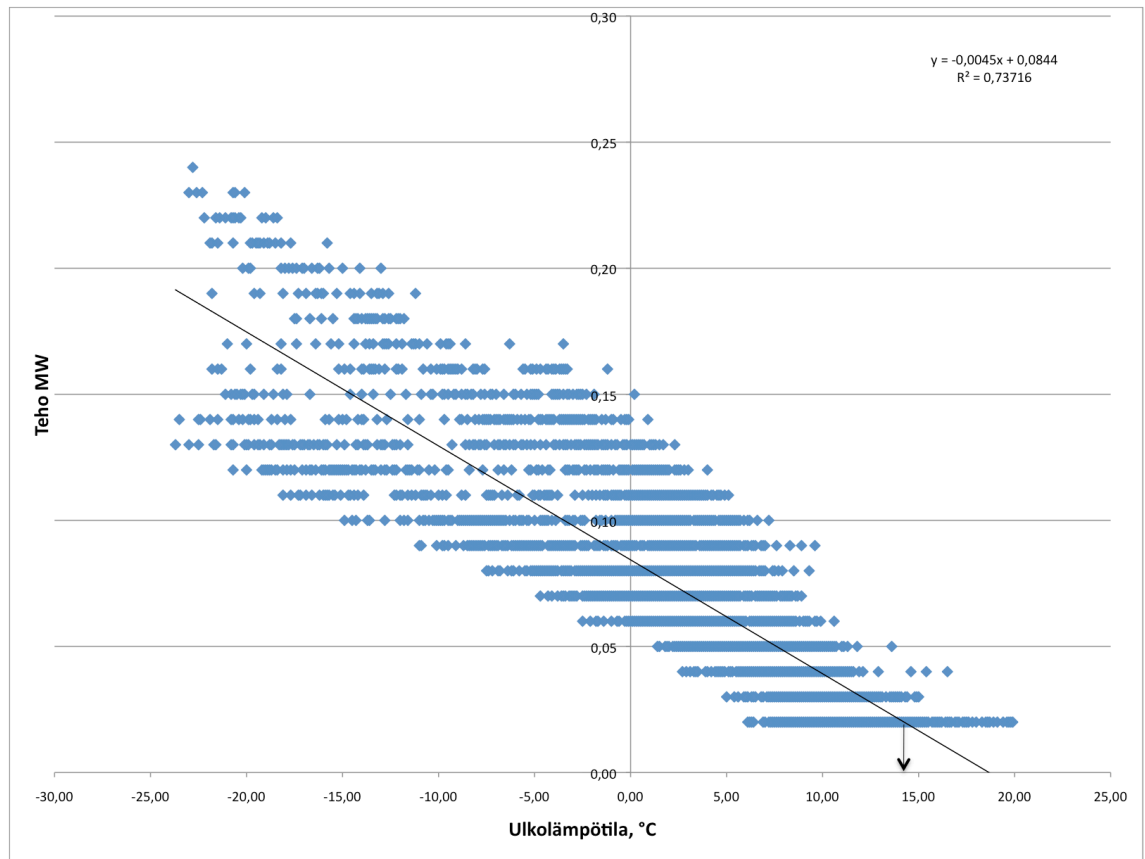
Vaikka kiinteistöjen peruslämpötilan selvittäminen on usein epätarkkaa tuntikulutustietojen perusteella, on kuitenkin joukossa muutamia poikkeuksia, jolloin tuntitiedoista voi saada tarkempaakin tietoa selville kiinteistön lämmityskäyttäytymisestä. Esimerkkinä on vantaalaisen kauppakeskuksen regressioanalyysi kuvassa 15 tuntitehojen perusteella.



Kuva 15. Vantaalaisen kauppakeskuksen tuntikulutusvertailu /22/

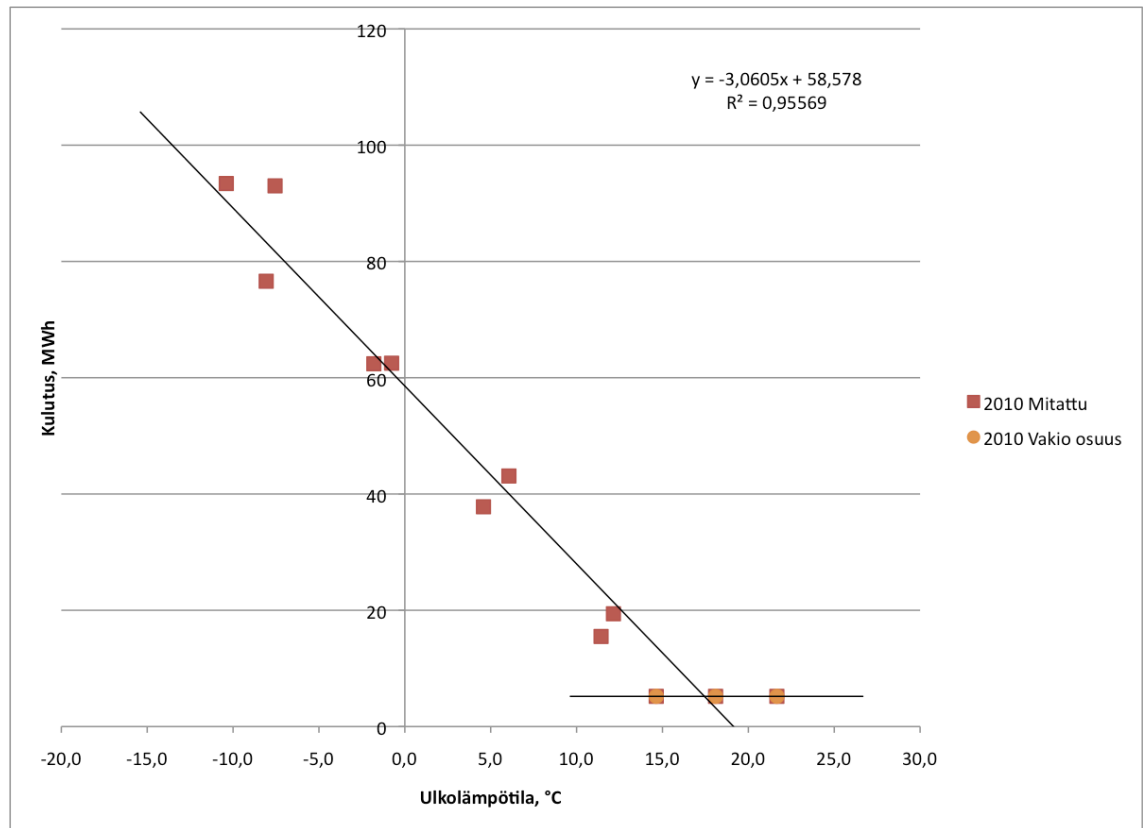
Kuvassa 15 voidaan havaita, että kiinteistö käyttäytyy melko lineaarisesti kulutuksen osalta. Kuvaajasta voidaan selkeästi havaita kolme eri lämmitysvaihetta ja pisteet erottelemalla päästään tarkkaan selitysasteeseen (0,8–0,9). Vaiheet ovat tarkemman analyysin perusteella ilmenneet yö-, päivä- ja aukioloaika käytöiksi. Tämänkin kauppakeskuksen todellinen peruslämpötila on +12 °C. Analyysin on tehnyt Schneider Electric Buildings Finland Oy:n kehitysjohtaja Lauri Heikkinen /22/.

Olen vertailun vuoksi tehnyt myös muita regressioanalyysyjä havainnollistamaan, kuinka paljon rakennusten peruslämpötilat vaihtelevat. Kuvassa 16 on helsinkiläisen toimistokiinteistön Latokartanontie 7 peruslämpötila regressioanalyysin perusteella tuntikulutustiedoista.



Kuva 16. Toimistorakennus Latokartanontie 7:n tuntikulutusvertailu.

Kuvasta 16 voidaan päätellä kohtuullisen luotettavasti, että kiinteistön peruslämpötila on +15 °C. Tarkemman vertailutuloksen saamiseksi tein kohteesta myös analyysin kuukausikulutusten perusteella, koska kuvaajan selitysaste oli 0,73 eli melko huono. Tuntipisteet olisi myös mahdollista erotella tässä kohteessa, koska kulutusjakaumia on selkeästi kaksiosainen. Erottelu olisi järkevää tehdä, jotta saataisiin tarkempi selitysaste eli tarkkuus, mutta tuhansien tarkastelupisteiden takia erottelua ei ole järkevää tehdä. Kuvassa 17 on esitetty regressioanalyysi kuukausikohtaisten kulutustietojen perusteella.



Kuva 17. Toimistorakennus Latokartanontie 7 kuukausikulutusvertailu.

Kuvassa 17 voidaan havaita, että kiinteistön peruslämpötila mitattujen kulutustietojen perusteella asettuu noin +17 °C:seen ja että tässä tapauksessa sääkorjauksessa käytetty peruslämpötila +17 °C on juuri oikea.

Taulukossa 2 on vielä esitelty tämän tutkimuksen aikana tehtyjen peruslämpötilojen laskelmien tuloksia. Taulukosta on havaittavissa, että keskimäärin kaikissa tarkasteluun kuuluneissa kauppakeskuksissa on selvästi alle +17 °C:n peruslämpötila. Kauppakeskuksissa on usein paljon ihmisiä ja valaistusta, jotka vaikuttavat merkittävästi kiinteistöjen peruslämpötiloihin.

Taulukko 2. Laskettuja peruslämpötiloja

Kohde	Peruslämpötila
Toimisto Kumpulantie 3	13,5 °C
Kauppakeskus Myyrmanni	12,0 °C
Toimisto Latokartanontie 7	17,0 °C
Toimisto Kirkonkyläntie 3	17,0 °C
Kauppakeskus Columbus	12,5 °C
Kauppakeskus Ideapark	13,0 °C
Toimisto Radiokatu	15,0 °C

Kaikki edellä esitellyt peruslämpötila-analyysit ja -vertailut on tehty Schneider Electricin Buildings Finland Oy:n, Energiakolmio Oy:n ja Helsingin Energian kulutusseurantatietokannoista saatujen tietojen perusteella.

Regressioanalyysien perusteella voidaan todeta, että peruslämpötilat vaihtelevat eri kiinteistötyypeissä. Tämän takia nykyistä sääkorjausmenetelmää olisi syytä tarkastella lähemmin.

#### 6.1.2 Kulutusseuranta

Kulutusseuranta tehdään vuosi-, kuukausi- ja tuntitarkkuudella, mutta seurannan tarkkuus vaihtelee hieman mittauksen laadusta ja tarkkuudesta. Mittareiden näytteenotto vaihtelee yhdestä W aina GW tarkkuuteen ja rajallinen mittareiden muistin määrä joissakin tapauksissa rajoittaa tarkemman näytteenoton käyttöönottoa. Luonnollisesti näytteenottovälin ollessa 1 W:n sijaan 0,1 MW on analysointitarkkuus huonompi. Useimmissa vanhemmissa energialaitosten tuntitehomittauksissa näytteenoton tarkkuus on 0,1 MW, mutta lämpömäärämittareissa tästä ei ole haittaa, koska laskutusväli on usein kuukausi.

Tekniikan ja tietoteknisten laskentamenetelmien kehittymisen myötä tuntuu, että mielikuvitus on rajana kulutusseurannassa. Tietotekniset järjestelmät tuovat kuitenkin oman lisänsä, kun etäluentajärjestelmissä ilmenee puutteita ja mittaustiedoista saattaa jäädä satoja mittaustietoja pois yhteyshäiriöiden takia. Olen työhistoriani aikana korjannut useita näitä kulutusseurannan mittausergelmia. Tämä ongelma on myös havaittavissa useimmissa kulutusseurantatulosteissa. Tämän takia tuntimittaustiedon kerääminen ei usein ole tarkkaa, mutta mittausten toimiessa se on tehokas työkalu.

Tuntikulutusseuranta mahdollistaa muun muassa seuraavat edut verrattuna kuukausiseurantaan:

- antaa yöllä tapahtuneiden vahinkojen aikaleiman
- mahdollistaa kulutuspiikkien havaitsemisen ja niihin puuttumisen nopeasti
- mahdollistaa yö- ja päiväkulutusten seurannan ja analysoinnin

- mahdollistaa viikonpäivien erottelun kulutusseurannassa
- antaa mahdollisuuden tarkempiin tutkimuksiin
- mahdollistaa kulutuspiikkien aiheuttamien laitteiden selvittämisen käyntiaikojen perusteella.

Tuntikulutusseuranta ei kuitenkaan ole täydellinen järjestelmä, kuten totesin rakennusten peruslämpötiloja selvittäessäni. Kiinteistöjen hitaan reagoit nopeuden takia saat-  
taa tuntitehoseuranta olla turhan tarkka peruslämpötilan selvittämiseen. Jatkuva kulu-  
tuksen vaihtelu aiheuttaa epätarkkuutta regressioanalyysissä. Tuntitehoa mittaustieto-  
ja analysoitaessa on pisteiden määrä myös usein tuhansia, jolloin suuri käsiteltävä tieto  
määrä on myös aikaa vievää ja raskasta prosessoida sekä se vaatii tehoa tietoteknisiltä  
järjestelmiltä.

Kuukausikohtainen kulutusseuranta onkin yleispätevä, kun seurataan kiinteistön käyt-  
täytymistä koko vuoden aikana. Se mahdollistaa kuukausi- ja kausikohtaisen seuran-  
nan, vertailun ja analysoinnin. Nykyinen sääkorjausmenetelmä on myös tehty sopivaksi  
kuukausikohtaisille kulutustiedoille. Tästä päästäänkin kuukausikulutusseurannan etui-  
hin:

- on yleispätevä ja useissa kiinteistöissä käytössä
- on standardien mukainen ja mahdollista sääkorjata helposti
- mahdollistaa kausi- ja kuukausikulutusten seurannan helposti
- helpottaa peruslämpötilan selvittämistä.

Kuukausikulutusseurannasta päästään vuosittaiseen kulutusseurantaan. Vuosikulutus-  
seurannasta ei mielestäni ole paljoa hyötyä. Vuosikulutusseuranta sopii parhaiten mie-  
lestäni eri paikkakunnalla olevien kiinteistöjen kulutusta verrattaessa, koska nykyinen  
sääkorjaus tukee myös vuositasolla mitattuja kulutustietoja. Vuosittainen kulutusseu-  
ranta on kuitenkin melko yleinen, koska kiinteistöjä on yli miljoona ja mittalaitteet ovat  
useilta vuosikymmeniltä sekä seuranta saattaa maaseuduilla perustua esimerkiksi, hak-  
keen, pelletin tai öljyn toimitusmääriin. Vuosikulutusseurannalla on seuraavia hyötyjä ja  
haittoja:

- Kulutuksia on yksinkertaista sääkorjata ja verrata eri paikkakuntien kesken.

- Öljyn, hakkeen ja pelletin toimitusmäärissä ja ajoista on usein epätarkkuuksia.
- Vakio-osuus joudutaan usein arvioimaan.
- Sääkorjaus synnyttää virhettä uimahallien ja jäähallien kulutusseurantaan.
- Peruslämpötilan selvittäminen kulutustietojen perusteella on mahdotonta.

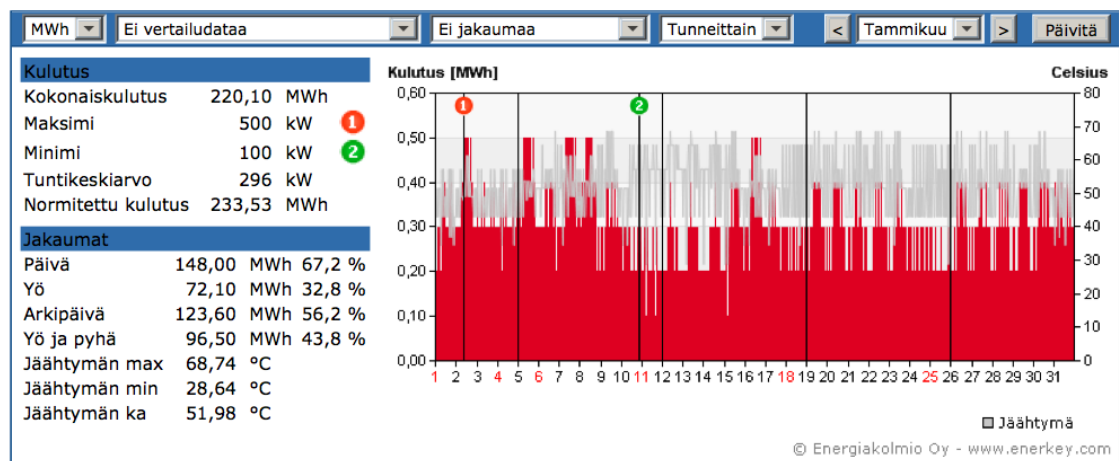
Esimerkkeinä eri aikajaksojen kulutusseurannasta ovat kuvat 18–21 Energiakolmion Enerkey-palvelusta, joka on yksi kulutusseurantapalvelun tarjoajista. Schneider Electric tarjoaa myös kulutusseurantapalveluita vastaavalla tarkkuudella.

### Kuukausiraportti, Kaukolämpö (Tammikuu 2009)

35667

12.1.2012

Kohde KOy Helsingin Radiokatu 20		Katuosoite Radiokatu 20, 00240 HELSINKI	
Yritys IVG Polar Oy		Omistaja -	
Lämmitysmuoto Kaukolämpö	Kiinteistötyyppi 15 Toimistorakennukset	Valmistumisvuosi -	



Kuva 18. Tuntikulutusseuranta Helsingin Radiokadun toimistokiinteistössä. /20/

Tuntikulutusseurannan kuvasta 18 voidaan havaita, että tietoa ei juuri voida analysoida, koska kuvaaja on melko sotkuinen useiden satojen mittatietojen takia. Enerkey mahdollistaa kuitenkin tuntikulutustietojen tulostamisen exceliin, jolloin tietoja on mahdollista analysoida tarkemmin. Lisäksi kuvaajan voi piirtää määrätyle tunti- ja vuorokauden keskiarvojen, mikä mahdollistaa kaikki tuntiseurannan edut.



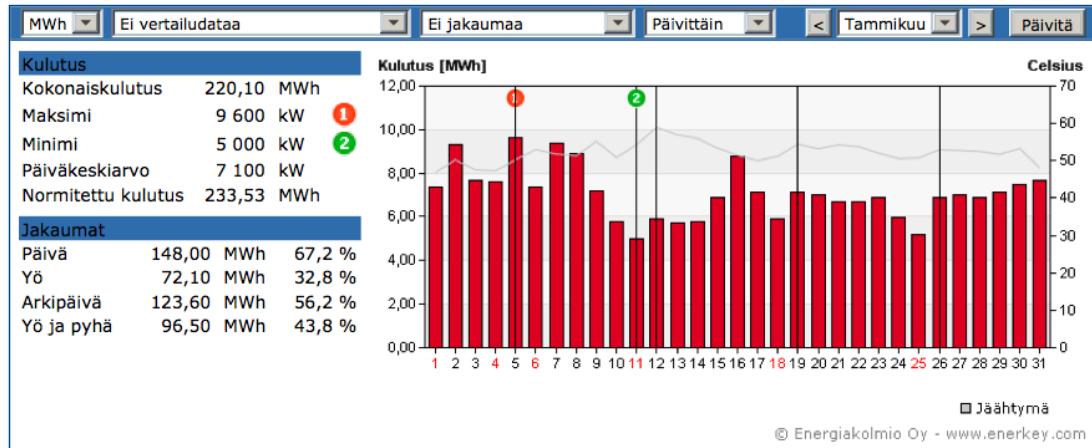
## Kuukausiraportti, Kaukolämpö (Tammikuu 2009)



35667

31.1.2012

Kohde KOy Helsingin Radiokatu 20		Katuosoite Radiokatu 20, 00240 HELSINKI	
Yritys IVG Polar Oy		Omistaja -	
Lämmitysmuoto Kaukolämpö	Kiinteistötyyppi 15 Toimistorakennukset	Valmistumisvuosi -	



Kuva 19. Päiväkulutusseuranta Helsingin Radiokadun toimistokiinteistössä /20/

Päiväkulutusseurantaa, joka näkyy kuvassa 19, ei suoraan verrattu tässä raportissa, koska useimmat sen hyödyistä voidaan sisällyttää tuntikulutusseurantamalleihin. Päiväkulutusseuranta tehdäänkin usein tuntimittausten perusteella. Etuna päiväkulutusseurannassa on arkipäivien ja viikonlopun kulutuserojen havaitseminen esimerkiksi toimistorakennuksissa, jossa ei pitäisi olla käyttöä viikonloppuisin.

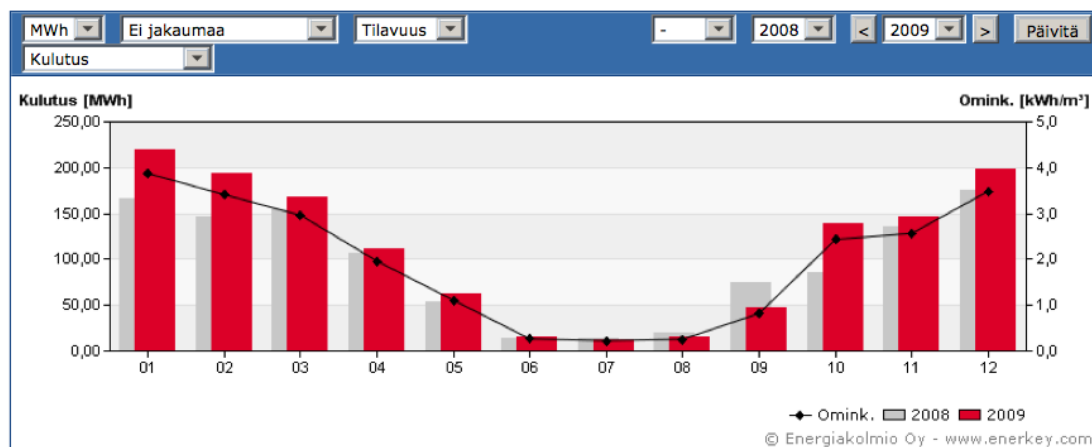
## Vuosiraportti, Kaukolämpö (2009)



35667

31.1.2012

Kohde KOy Helsingin Radiokatu 20		Katuosoite Radiokatu 20, 00240 HELSINKI	
Yritys IVG Polar Oy		Omistaja -	
Lämmitysmuoto Kaukolämpö	Kiinteistötyyppi 15 Toimistorakennukset	Valmistumisvuosi -	Tilavuus 56 800 m <sup>3</sup>



Yhteensä [MWh]						
Kuukausi	2008	2009	Muutos	Maksimi [kW]	Jäähdytys [°C]	Vesivirran maksimi m <sup>3</sup> /h
Tammikuu	166,90	220,10	31,9 %	500	52	9,00
Helmikuu	146,70	193,80	32,1 %	500	51	8,00
Maaliskuu	154,70	168,20	8,7 %	500	51	7,00
Huhtikuu	106,70	111,40	4,4 %	300	52	4,00
Toukokuu	53,10	63,00	18,6 %	200	49	4,00
Kesäkuu	14,40	15,10	4,9 %	100	34	1,00
Heinäkuu	14,30	12,90	-9,8 %	100	29	1,00
Elokuu	20,00	14,70	-26,5 %	100	33	1,00
Syyskuu	74,30	46,70	-37,1 %	300	45	4,00
Lokakuu	85,20	138,30	62,3 %	400	50	6,00
Marraskuu	136,20	145,90	7,1 %	400	53	6,00
Joulukuu	175,90	198,00	12,6 %	600	53	9,00
Yhteensä	1 148,40	1 328,10	15,6 %	600	50	9,00
Ominaiskulutus [kWh/m <sup>3</sup> ]	20,2	23,4				

Kuva 20. Kuukausikulutusseuranta Helsingin Radiokadun toimistokiinteistössä /20/

Kuvassa 20 näkyvästä kuukausikulutusseurantatiedosta onkin helposti havaittavissa edellä mainitsemani hyödyt.

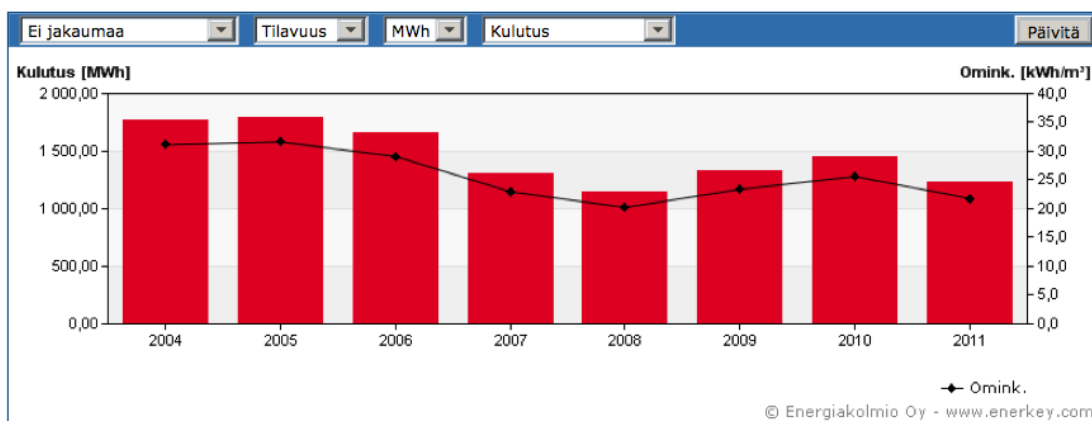
### Kulutukset vuosittain, Kaukolämpö (2004-2011)



35667

31.1.2012

Kohde KOy Helsingin Radiokatu 20		Katuosoite Radiokatu 20, 00240 HELSINKI	
Yritys IVG Polar Oy		Omistaja -	
Lämmitysmuoto Kaukolämpö	Kiinteistötyyppi 15 Toimistorakennukset	Valmistumisvuosi -	Tilavuus 56 800 m <sup>3</sup>



	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Kulutus [MWh]	1 767,19	1 795,71	1 653,70	1 305,20	1 148,40	1 328,10	1 454,50	1 237,50
Muutos [%]	-	1,6 %	-7,9 %	-21,1 %	-12,0 %	15,6 %	9,5 %	-14,9 %
Ominaiskulutus [kWh/m <sup>3</sup> ]	31,1	31,6	29,1	23,0	20,2	23,4	25,6	21,8
Kulutuksen maksimi [kW]	-	800	800	800	600	600	700	700
Kulutuksen keskiarvo [kW]	-	167	190	150	131	152	167	142
Kulutuksen minimi [kW]	-	0	0	0	0	0	0	0
Vesivirran maksimi [m <sup>3</sup> /h]	-	-	13,00	12,00	9,00	9,00	11,00	10,00

Kuva 21. Vuosikulutusseuranta Helsingin Radiokadun toimistokiinteistössä /20/

Kuten kuvan 21 raportista on nähtävissä, saadaan vuosikulutusseurannasta ominaiskulutukset ja vuosittainen kokonaiskulutus. Tämä mahdollistaa kiinteistön vuosikulutusten vertaamisen eri paikkakunnille, mutta analysoitavaa tietoa on vähän. Kulutustietojen säilyttämiseen ei vaadita laskentatehoa tai suurta muistimäärää tietojärjestelmiltä.

Vielä viimeisenä esimerkkinä sähkötehon kuukausikulutusseurantaraportti. Kuvasta 22 on selkeästi havaittavissa, että tämän kiinteistön sähkönkulutus käyttäytyy sääriippuvaisesti. Kiinteistössä on jäähdytys, joka on päällä ainoastaan touko-, kesä-, heinä-, elo- ja syyskuun. Onkin syytä kiinnittää huomiota kyseisten kuukausien kulutuksiin.

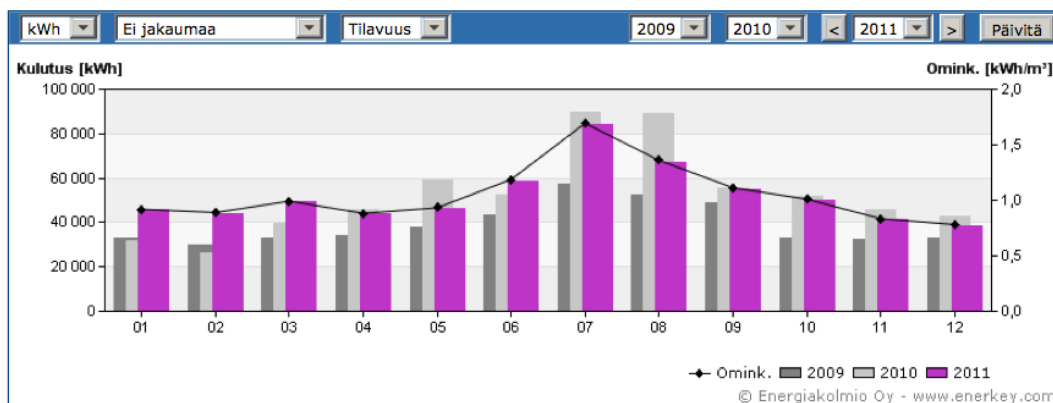
## Vuosiraportti, Sähkö (2011)



8625

31.1.2012

Kohde KOy Vilhonkatu 5	Katuosoite Vilhonkatu 5, 00100 HELSINKI		
Yritys IVG Polar Oy	Omistaja -		
Lämmitysmuoto Kaukolämpö	Kiinteistötyyppi 11 Myymälärakennukset	Valmistusvuosi -	Tilavuus 49 500 m <sup>3</sup>



Yhteensä [kWh]	2009	2010	2011	Maksimi [kW]	Loishuippu [kVar]
Kuukausi					
Tammikuu	33 178	31 882	45 518	74	5
Helmikuu	29 660	26 158	44 095	90	5
Maaliskuu	32 891	39 729	49 123	89	4
Huhtikuu	33 869	45 573	43 731	93	0
Toukokuu	37 844	59 312	46 183	112	0
Kesäkuu	43 220	52 228	58 833	174	0
Heinäkuu	57 313	89 814	83 880	207	-
Elokuu	52 477	88 897	67 376	166	-
Syyskuu	48 732	55 350	55 120	127	-
Lokakuu	33 112	51 965	50 002	98	-
Marraskuu	32 246	45 571	41 330	99	-
Joulukuu	32 690	42 777	38 695	70	-
Yhteensä	467 232	629 256	623 886	207	5
Ominaiskulutus [kWh/m³]	9,4	12,7	12,6		

Kuva 22. Sähkön kuukausikulutuksen seurantaraportti Helsingin Vilhovuorenkadun toimistokiinteistöstä. /20/

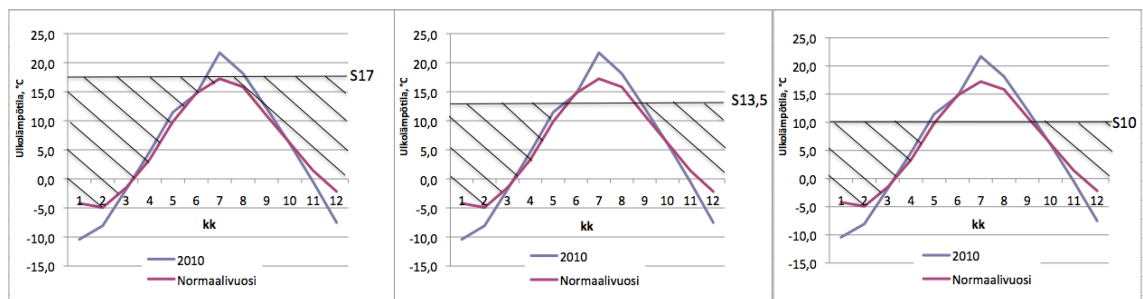
Tässä kuvassa 22 on hyvä esimerkki siitä, minkä takia Suomessakin tulisi olla toimintamalli jäähdytyksen sääkorjaukselle. Luvussa 6.1.3 Säästölaskelmat analysoidaan tämän kohteen reagoimista ulkolämpötilaan regressioanalyysin perusteella.

### 6.1.3 Säästölaskelmat

Sääkorjauksella on myös vaikutus säästölaskelmien onnistumiseen. Olen käytännössä kohdannut tämän ongelman usein, kun säästölaskelmien aiheuttama virhe on suurentanut todellisten säästöjen määrää. Tällöin sääkorjaus on tehty väärällä peruslämpötilalla. Lisäksi säästölaskelmien epätarkkuuteen vaikuttaa myös sääkorjaustietojen puutteellisuus. Usein kiinteistöjen järjestelmät käyvät päivällä täydellä teholla, ja yöllä läm-

mitystarve saattaa lisääntyä tai vähentyä riippuen kiinteistötyypistä. Teollisuudessa lämmitystarve vähenee tuotannon ollessa käynnissä, ja toimistoissa ja kauppakeskuk- sissa suurten ilmanvaihtokoneiden käynnistyessä lämmitystarve puolestaan lisääntyy.

Kulutusvertailussa ja säästölaskelmissa käytetään Suomessa aina S17- sääkorjaustaulukoita, minkä takia lopputulokset ovat tämältyyppisissä kiinteistöissä usein virheellisiä. Merkittävin vaikutus laskelmiin tulee varsinkin kylmempinä kevät- ja syyskuukausina, kun alhaisemman peruslämpötilan kiinteistöillä alkaa todellinen läm- mityskausi vasta myöhemmin ja lämmitystarve on näin ollen pienempi. Kuvassa 23 esitetään, kuinka lämmitystarve vähenee, kun kiinteistön peruslämpötila muuttuu pie- nemmäksi.



Kuva 23. Lämmitystarpeen muuttuminen eri peruslämpötiloilla.

Kuvassa 23 vaakasuora viiva kuvaa kiinteistön peruslämpötilaa. Punainen viiva kuvaa normaalivuoden ulkolämpötila vaihtelua kuukausitarkkuudella ja sininen viiva kulu- van vuoden 2010 lämpötilavaihtelua kuukausitarkkuudella. Peruslämpötilan ja ulkolämpötilan väliin jäävä pinta-ala kuvaa kiinteistön lämmitystarvetta. Kuvasta on helposti nähtävissä, että normaalivuoden ja toteutuneen vuoden lämmitystarvelukujen eli toteutu- neen mitatunkulutuksen kerroin  $NS/S$  muuttuu peruslämpötilan muuttuessa. Kerroin muuttuu, koska lämmitystarvelukujen laskennassa lasketaan  $(T_p - T_u)$  Mitä matalampi peruslämpötila on, sitä suurempi on normeeratun ja mitatun kulutuksen ero.

Taulukosta 3 ilmenee hyvin, miten suuri vaikutus lämmitystarvelukuihin oikealla perus- lämpötilalla on. Taulukkoon on sijoitettu Ilmatieteen laitoksen vuonna 2010 julkaisemat lämmitystarveluvut ja normaalivuoden lämmitystarveluvut sekä laskennallisesti määri- tetyt S13,5 lämmitystarveluvut. Luvut on laskettu Suomen lämmitystarveluvun lasken- tatavan mukaan käyttämällä peruslämpötilana  $+13,5\text{ °C}$ :ta. Laskennassa on käytetty

Ilmatieteen laitokselta saatuja vuorokautisia keskilämpötiloja, joita käytetään Suomessa normaalivuoden lämmitystarvelukujen laskennassa. Normaalivuosi S13,5 on laskettu vuosien 1971–2000 päivittäisten keskilämpötilatietojen perusteella. Vuoden 2010 lämmitystarveluvut on laskettu käyttämällä kyseisen vuoden päivittäisiä keskilämpötiloja. Laskennassa on käytetty Helsingin Kaisaniemen lämpötila-arvoja. /18/

Taulukko 3. Lämmitystarvelukujen S17 ja S13,5 vertailu.

	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Syys	Loka	Marras	Joulu	YHT
S17 Norm	657	619	574	404	169	144	331	468	594	3989
S17 2010	850	702	584	372	127	99	340	526	760	4376
Ero % S17 Norm -> S13,5 Norm	-16 %	-16 %	-19 %	-24 %	-59 %	-51 %	-31 %	-22 %	-18 %	-23 %
S13,5 Lasketut Norm	549	520	465	306	70	70	227	363	486	3074
Ero% S17 2010 -> S13,5 2010	-13 %	-14 %	-19 %	-28 %	-33 %	-49 %	-32 %	-20 %	-14 %	-19 %
S13,5 Lasketut 2010	741	604	476	267	85	50	232	421	652	3526

Taulukosta 3 ei kuitenkaan suoraan ilmene, kuinka peruslämpötila vaikuttaa sääkorjaukseen, ja tästä on tarkempi vertailu taulukossa 4. Vertailussa on arvioitu kiinteistön kulutuksen olevan 100 MWh. Laskennassa selvitetään eri peruslämpötilojen vaikutusta rakennusten lämmitystehontarpeeseen ja sääkorjattuun kulutukseen. Esimerkkinä on laskettu lämmitystarveluvun S10 mukaan rakennuksen ominaislämmitystarvetta vastaava arvo kW/°C. Laskenta on tehty seuraavalla tavalla:  $100 \text{ MWh} / (2688 \text{ Kd} * 24 \text{ h}) * 1000 = 1,5 \text{ kW/°C}$ . Tämän jälkeen laskettiin peruslämpötilalla +10 °C muodostetun normaalivuoden lämmitystarveluvun NS10 avulla sääkorjattu kulutus  $1,5 \text{ kW/°C} * 24 \text{ h} * 2197 \text{ Kd} / 1000 = 81,7 \text{ MWh}$ . Laskenta tehtiin muutamalla eri peruslämpötilalla ja tuloksia verrattiin lämmitystarveluvuilla S17 saatuihin tuloksiin. Taulukosta 4 ilmenevät tulokset ja myös se kuinka väärä peruslämpötila vaikuttaa sääkorjauksen lopputulokseen. Lisäksi taulukosta 4 voi myös havaita, kuinka väärällä peruslämpötilalla laskettu sääkorjaus vääristää myös todellista lämmitystehoa.

Taulukko 4. Peruslämpötilojen vertailua eri kulutussuureisiin.

<b>Kulutus</b>	100,0	MWh			
<b>S10</b>	<b>S13,5</b>	<b>S17</b>			
2688	3532	4348			
<b>NS10</b>	<b>NS13,5</b>	<b>NS17</b>			
2197	3051	3989			
<b>Kulutusvertailu</b>					
S10	81,7	MWh	S10	1,5	kW/°C
S13,5	86,4	MWh	S13,5	1,2	kW/°C
S17	91,7	MWh	S17	1,0	kW/°C
Erotus S10->S17	10,0	MWh	Ero S10->S17	0,6	kW/°C
Ero S10->S17 %	10,9 %	%	Ero S10->S17 %	61,7 %	%
Erotus S13,5->S17	5,4	MWh	Ero S13,5->S17	0,2	kW/°C
Ero S13,5->S17 %	5,8 %	%	Ero S13,5->S17 %	23,1 %	%

Taulukon 4 arvoissa on käytetty kiinteää kulutusta 100 MWh, jotta se olisi helpommin ymmärrettävissä. Laskelmissa ei ole huomioitu eri kiinteistöjen vakio-osuutta, joka usein syntyy lämpimästä käyttövedestä. Peruslämpötilat on laskettu samalla periaatteella kuin taulukossa 1, ja S17:n arvot ovat suoraan Ilmatieteen laitokselta.

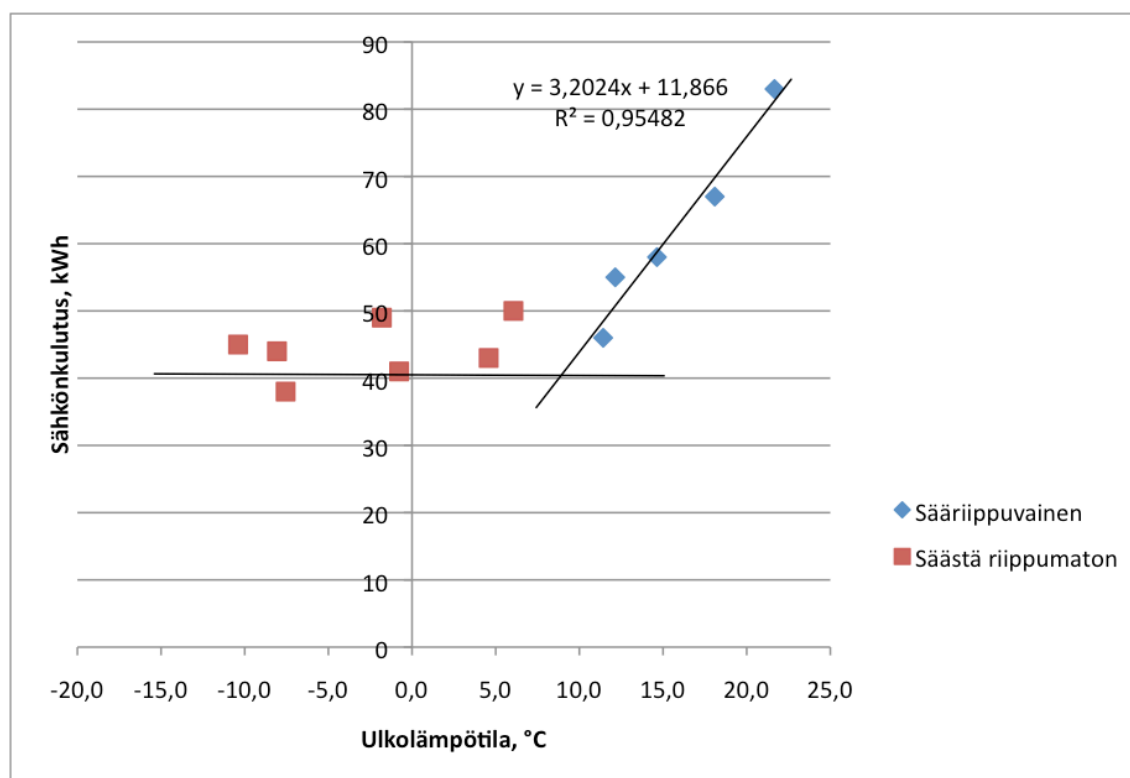
Taulukon 4 tarkastelussa voidaan havaita, että peruslämpötila vaikuttaa sääkorjattuun lopputulokseen merkittävästi ja peruslämpötilan ollessa todellisuudessa +13,5 °C syntyy sääkorjauksessa eroa jopa 5,4 % suhteessa normaaliin Suomen ohjeistuskäyttöön. Lisäksi ominaistehovertailussa voidaan havaita, että ero on jopa 23,1 % suhteessa ohjeistettuun menetelmään. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jos sääkorjaus tehdään esimerkiksi 5 000 MWh kuluttavaan kauppakeskukseen, jonka peruslämpötila on +13,5 °C, tulee peruslämpötilasta n. 260 MWh virhettä ja rahallisesti tämä tarkoittaa laskettaessa kaukolämpöhinnalla 40 €/MWh noin 10 000 €:a. Esimerkiksi säästölaskeelmia tehtäessä virheellä saattaa olla merkitystä.

Jos edellisen laskelman perusteella lasketaan esimerkiksi nollaenergiatalon tai matalaenergiatalon sääkorjaus, on virhe huomattavasti suurempi, koska oletettavasti matalaenergiatalon peruslämpötila saattaa olla ulkolämpötilan mukaan jopa miinuspuolella. Nolla- ja matalaenergiatalojen pienen rakennusmäärän vuoksi ei tätä osa-aluetta tutkita tässä työssä sen enempää.

Sähkön sääkorjaus on mainittava, sillä Suomessa ei tällä hetkellä ole mahdollista tehdä jäähdytyksen sääkorjausta. Suomessa ei ole saatavilla jäähdytyksen sääkorjaustaulu-

koita, mutta säästötoimenpiteitä ja laskelmia jäähdytysjärjestelmiin kuitenkin tehdään jatkuvasti. Minulla on henkilökohtaisiakin kokemuksia siitä, kun säästöinvestointien jälkeen asiakas on todennut, että sähkönkulutuksen osalta ei ole saavutettu säästöjä, kun kesä on ollut kuuma ja jäähdytysjärjestelmä on peittänyt alleen kaikki saavutetut säästöt. Kuten jo edellisessä luvussa on esitetty, sähkönkulutuksen sääkäyttäytyminen on erittäin helppo havaita, jos se seuraa ulkolämpötilaa. Lisäksi sähkönkulutuksen säätökorjaaminen on mahdollista regressioanalyysillä.

Kuvassa 24 olen tehnyt regressioanalyysin aiemmin mainitsemastani kiinteistöstä Vilhonkatu 5:stä, jonka sähkönkulutus seuraa ulkolämpötilaa. Tein analyysin todistaakseni, että Suomessa on todellinen tarve jäähdytyksen säätökorjaukselle.



Kuva 24. Sähkönkulutuksen analysointi ulkolämpötilaan nähden helsinkiläisestä toimistorakennuksesta.

Kuvasta 24 nähdään hyvin sähkönkulutuksen vakio-osuus, joka on noin 40 kWh. Ulkolämpötilan vaihtelusta riippuva osuus erottuu selkeästi ulkolämpötilan noustessa yli +10 °C:n, kun jäähdytyskoneet käynnistyvät. Ulkolämpötilan noustessa jäähdytystarve lisääntyy ja sähkönkulutus nousee.



Voidaan todeta, että sääkorjausta on syytä tarkastella tarkemmin peruslämpötilan, normeeraustaulukoiden, jäähtymisen ja saatavilla olevien tietojen tarkkuuden osalta.

## 6.2 Sääkorjauslaskentamenetelmät

Nykyinen sääkorjausmenetelmä antaa melko vertailukelpoisen tuloksen vuositasolla vanhoissa toimisto- ja asuinrakennuksissa. Muissa rakennustyypeissä ja lyhyemmillä laskentajaksoilla sääkorjaukset saattavat olla epätarkkoja tai mahdottomia nykyisillä menetelmillä. Lämmitystarvelukuja ei ole saatavilla alle päivänjaksoissa, ja kaikki nykyiset lämmitystarvelukutaulukot on tehty oletuksella, että kiinteistöjen peruslämpötila on +17 °C. Uudistuvien rakentamismääräysten ja matalaenergia- sekä passiivitalorakentamisen myötä S17 on epätarkka menetelmä sääkorjauksessa, koska kiinteistöjen todellinen peruslämpötila on huomattavasti alhaisempi. Käytännössä laskentatarkkuuteen vaikuttavia muuttujia on muitakin, kuten ulkolämpötila- ja kulutusmittaukset, laskentamenetelmät, erilaisten järjestelmien aiheuttamat virheet ja laskennan aikajaksot.

Lämmitystarvelukujen muodostamiseen tarvitaan kiinteistöjen peruslämpötila ja ulkolämpötila määrättyllä mittausjaksolla. Peruslämpötila ei Suomessa ole koskaan mitattua tietoa vaan oletamus +17 °C. Suomessa nykyisellä laskentamenetelmällä ei muista peruslämpötiloista kuin S17 ole hyötyä, koska muita lämmitystarvelukuja ei ole saatavilla. Laskennan voi tietenkin tehdä itse, kuten tein tässä insinööriyössä, mutta se on erittäin raskas tapa ja tietojen saaminen Ilmatieteen laitokselta maksaa useita satoja euroja.

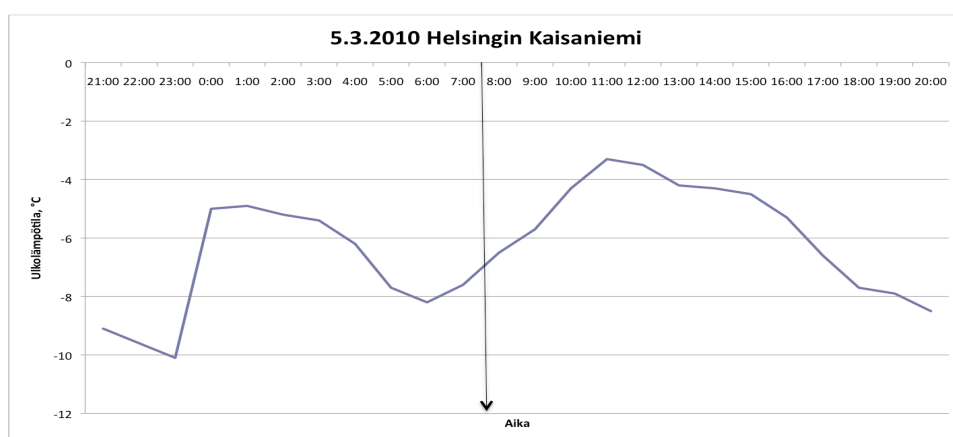
Toisena muuttujana on ulkolämpötila, johon käytetään vuorokautisen lämpötilan keskiarvoa. Todellisuudessa ulkolämpötila vaihtelee yön ja päivän aikana merkittävästi. Itse asiassa lämpötila vaihtelee jatkuvasti, minkä voi havaita taulukosta 5, johon olen laittanut 24 tunnin mittausjakson mittaustiedot Ilmatieteen laitoksen Helsingin Kaisaniemen mittauspisteestä 5.3.2010.

Taulukko 5. Vuorokauden lämpötilavaihtelu Helsingin Kaisaniemessä 5.3.2010 /17/

21:00	22:00	23:00	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	Yö keskia.
-9,1	-9,6	-10,1	-5	-4,9	-5,2	-5,4	-6,2	-7,7	-8,2	-7,6	-6,5	-7,1
9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	Päivä keskia.
-5,7	-4,3	-3,3	-3,5	-4,2	-4,3	-4,5	-5,3	-6,6	-7,7	-7,9	-8,5	-5,5

Taulukon 5 perusteella voidaan havaita, että lämpötila on eri jokaisella mitatulla tunnilla jaksolla sekä yön ja päivän keskiarvoissa on 1,6 °C:n ero. Vuorokautisen keskilämpötilan käyttö vääristää tämän takia hieman sääkorjausta. Keväällä on ajanjaksoja, jolloin vuorokauden keskilämpötila on niin lämmin, että oletetaan lämmityksen olevan pois päältä, vaikka lämpötila yöllä laskee niin alas, että lämmitys on todellisuudessa päällä. Tästä päästäänkin lämpötilojen mittausjaksoihin, jotka vaikuttavat sääkorjauksessa käytettyjen lämpötila-arvojen tarkkuuteen. Usein kiinteistöjen yö- ja päiväkäyttö ovat hyvin erilaisia. Yöaikana ulkoisten kuormien ollessa pois päältä ja toimistojen ollessa tyhjinä sekä ulkolämpötilan ollessa alhaisempi on lämmitys päällä. Sääkorjauksessa tuleekin kiinnittää huomiota tarkempiin mittausjaksoihin lämmitystarvelukujen muodostamisessa ja mahdollisesti myös lyhyempien aikajaksojen lämmitystarvelukuihin. Pitää kuitenkin huomioda, että normaalivuoden lämmitystarvelukuja ei voida muodostaa tarkemmin nykyisillä vuosien 1971–2000 mittaustiedoilla, koska tarkempia mittaustietoja ei ole saatavilla.

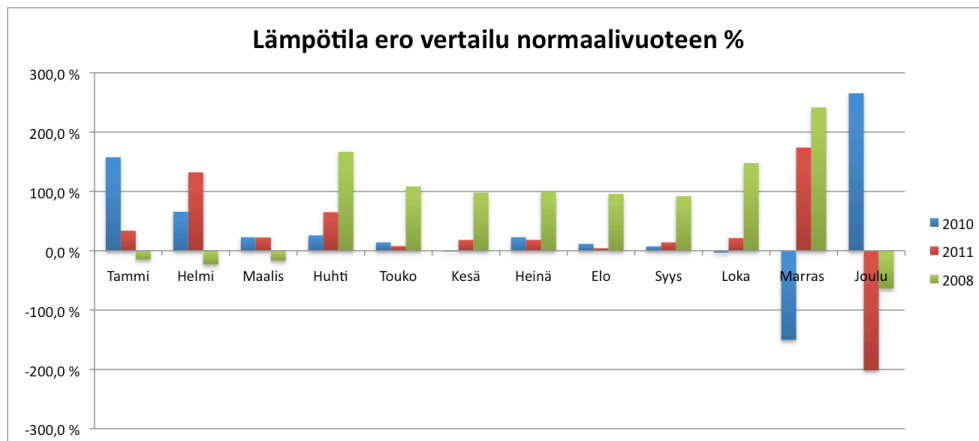
Kuvassa 25 on kuvattu vuorokautinen lämpötilavaihtelu taulukon 4 arvojen mukaan Helsingin Kaisaniemessä.



Kuva 25. Vuorokauden lämpötilavaihtelu Helsingin Kaisaniemessä 2.3.2010

Nuoli kuvassa 25 jakaa lämpötilat päivän ja yön välillä. Nuolen oikealla puolella on päivälämpötilat ja vasemmalla puolella yölämpötilat.

Sääkorjauksen tarkoituksena on muuttaa mitattu kulutus vertailtavaan arvoon. Lämmitystarveluvut, jotka muodostuvat eri vuosina tehdyistä lämpötilamittauksista mahdollistavat sääkorjauksen. Tässä verrataan vuosikohtaisten keskilämpötilojen suhdetta normaalivuoden keskilämpötiloihin ja kuvasta 26 voidaan todeta, että lämpötilat kääntyvät ristiin normaalivuotta kohden. Tällöin sääkorjaus korjaa mitatun kulutuksen oikeaan suuntaan, jotta kulutukset olisivat vertailukelpoisia. Sääkorjaus on kuitenkin usein ääriolosuhteissa riittämätön.



Kuva 26. Normaalivuoden prosenttiero keskilämpötilavertailu vuosiin 2008–2011 /18/.

Vaikka kuva 26 osoittaaakin, että sääkorjaus vaikuttaa kulutusvertailussa oikeaan suuntaan, se ei kuitenkaan poista laskentamenetelmiin vaikuttavia peruslämpötilan ja vuorokautisen keskilämpötilan aiheuttamaa virhettä.

Matemaattisesta näkökulmasta tarvitaan ääretön määrä ulkolämpötiloja, jotta lämmitystarveluvun laskenta olisi tarkka. Käytännössä tämä ei ole mahdollista, mutta teoreettisesti matemaattisesta näkökulmasta tarkan arvon voisi laskea lämmitystarveluvun integraalina kaavalla 16.

$$S = \int_{t_0}^{t_1} (T_p - \bar{T}_u) dt \quad (16)$$

$S$  on lämmitystarveluku, [Kd]

$T_p$  on peruslämpötila, [°C]

$\bar{T}_u$  on ajanjaksoa  $dt$  vastaava keskilämpötila, [°C]

$dt$  on ajanjakso, [s]

Käytännössä kaavan 16 mukainen laskentamalli tarvitsisi jatkuvaa ulkolämpötilan mittaamista, joka on käytännössä melkein mahdotonta. Nykyaikaiset tietojärjestelmät antavat kuitenkin mahdollisuuden päästä hyvin lähelle tätä tilannetta. Mittausjaksona voitaisiin käyttää yhtä sekuntia ja tiedot voitaisiin kerätä palvelimelle, jonka kapasiteetti ja prosessointiteho pystyvät käsittelemään mittaustietojen määrän ja laskennan erittäin nopeasti. Ikävä kyllä tosiasia on se, että tunnin aikajaksolla olevia ulkolämpötilamittauksia ei toistaiseksi ole kuin muutamalta vuodelta. Kuitenkin nykyisten kiinteistöautomaatiojärjestelmien kehittymisen myötä olisi jokaiselle kiinteistölle mahdollista tehdä automaattiset sääkorjaukset kiinteistön paikallisen ulkolämpötilamittausten perusteella esimerkiksi tunnin mittausjaksolla.

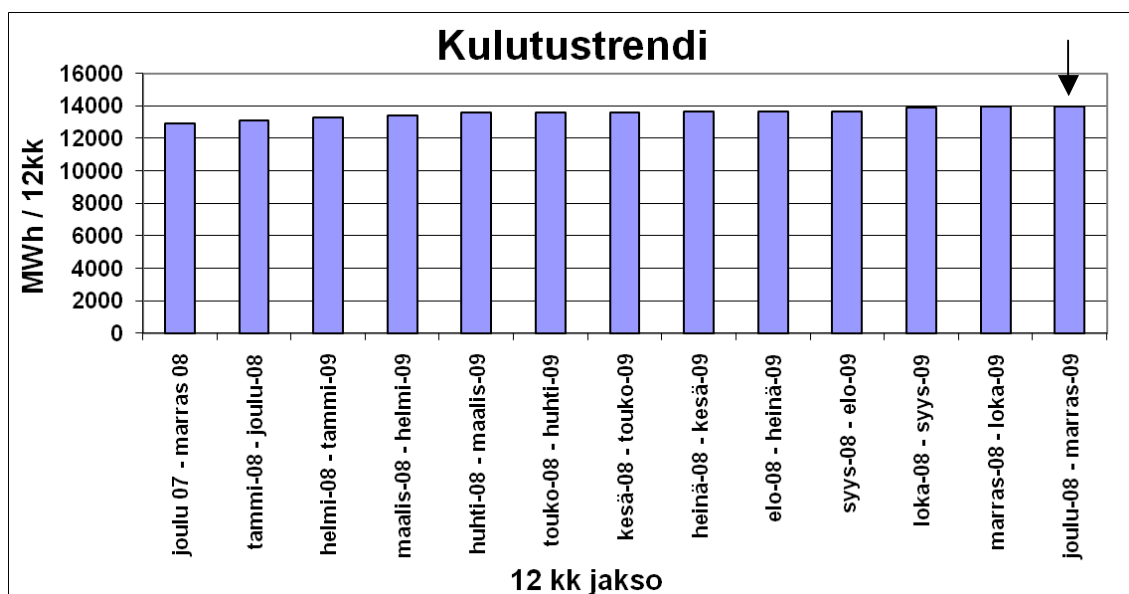
Nykyisessä sääkorjauslaskennassa huomioitavana osa-alueena on myös vakio-osuuden laskenta. Nykyään vakio-osuus usein arvioidaan, koska lämpimän käyttöveden osuutta ei ole erikseen mitattu. Luvun 3 Sääkorjauslaskentamallit kaavasta 3 voidaan selkeästi havaita lämpimän käyttöveden lämmitysenergiankulutuksen vaikutus nykyiseen sääkorjausmenetelmään, mutta mahdollisia muita vakio-osuuteen vaikuttavia lämmitystarpeita, kuten uima-altaita ei huomioida. Vakio-osuuden tai lämpimän käyttöveden osuuden laskentatarkkuutta voidaan parantaa mittaamalla lämpimän käyttöveden lämmitysenergian kulutus erikseen tai käyttämällä vaihtoehtoisia laskentamenetelmiä. Regressioanalyysimallia käytettäessä laskenta huomioi automaattisesti kiinteistön vakio-osuuden oli se sitten lämmintä käyttövettä, uima-altaan lämmitystehoa tai muuta lämmityskuormaa. Tästä selkeänä esimerkkinä oli sähkön regressioanalyysimalli, jossa vakio-osuus oli selkeästi erotettavissa sääriippuvaisesta kuormasta. Sama malli pätee myös lämmitysenergian analysoinnissa.

Yhteenvedona sääkorjauksen laskentamenetelmistä huomioitavia asioita ovat peruslämpötilat, ulkolämpötilojen mittausaikajaksot ja vakio-osuuden huomioonottaminen. Mielestäni nykyisten laskentamenetelmien päivittämistä tulee myös harkita vaativien rakennusmääräysten, energiasäästön ja energiatehokkaan rakentamisen myötä.

## 7 Muita mahdollisia vaihtoehtoja sääkorjaukseen

Seuraavassa vaihtoehtoisessa sääkorjausmenetelmässä hyödynnetään regressioanalyysiä vertailutason muodostamiseen. Tämä laskentamalli on käytössä muun muassa Schneider Electric Building Finland Oy:ssä.

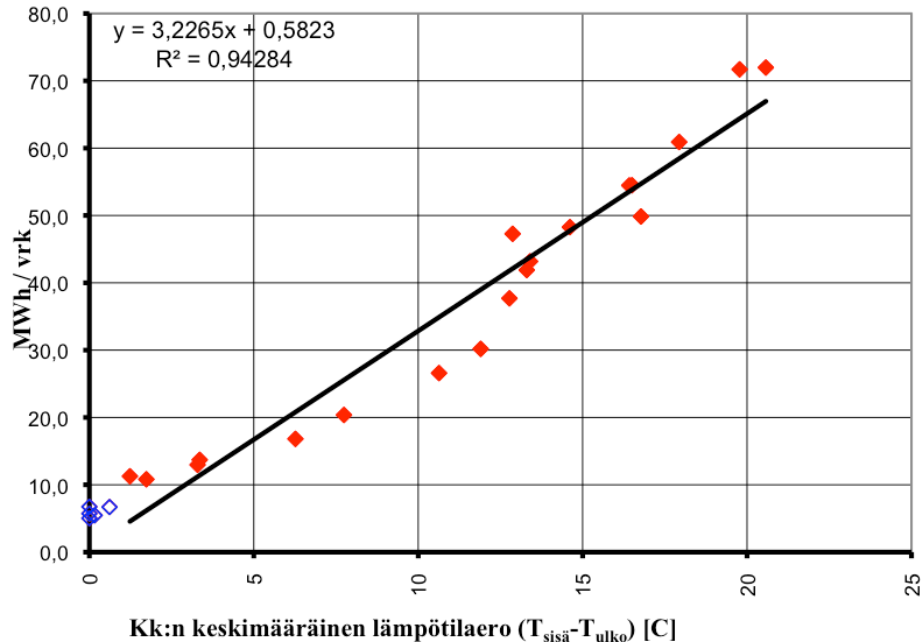
Mallissa kerätään 26 kuukauden, ajalta 3 vuoden yhtäjaksoiset kulutustiedot, jotka syötetään lähtötiedoiksi. Pienempi määrä vaikuttaa analyysin tarkkuuteen. Lähtötiedot voivat olla aivan miltä tahansa valitulta 26 kuukauden yhtämittaiselta jaksolta. Tämän jälkeen kulutustiedot jaetaan 12 kuukauden jaksoihin etenemällä kuukusi kerrallaan eteenpäin. Kun kaikki jaksot on muodostettu, valitaan kokonaiskulutusten perusteella kiinteistölle sopivin seurantataso. Tämän tarkoituksena on erottaa, jos kiinteistössä on tapahtunut merkittäviä muutoksia tuon 26 kuukauden jakson aikana ja jättää nämä vertailutasoa valittaessa ulkopuolelle vertailusta tai valita korkeakulutustaso muutosten takia. Tavoitteena on siis löytää yhtäjaksoinen ajanjakso, jossa kulutukset ovat tasaisia. Kuvassa 27 on esitelty kulutusjaottelu 26 kuukauden kulutustiedoista.



Kuva 27. Kulutusjaottelu.

Kun seurantakausi on selvillä, lisätään laskentamalliin jokaisen seurantakauteen kuuluvan kuukauden lämmitystarveluvut, jotta voidaan tehdä regressioanalyysi kyseisten kuukausien kulutustietojen perusteella. Regressioanalyysistä nähdään, onko jokin valitun aikajakson kuukausikulutus reilusti poikkeava lineaarisesta trendikuvaajasta. Jos

poikkeavuudet ovat suuria ja selitysaste on huono, voidaan nämä pisteet poistaa tarkastelusta, tällöin kuvaajan selitysaste paranee ja vertailutasosta tulee luotettavampi. Kuvaajasta on esimerkki kuvassa 28.



Kuva 28. Regressioanalyysi valitun jakson kulutusposteista MWh/vrk suhteessa kuukauden keskimääräiseen lämpötilaeroon.

Kohteen mitattu kulutus ja saman jakson lämmitystarveluku jaetaan molemmat kuukauden päivien lukumäärällä, edellinen muodostaa laadittavan kuvaajan y-akselin (MWh/vrk) ja jälkimmäinen x-akselin ( $^{\circ}\text{C vrk/vrk} = ^{\circ}\text{C}$ , joka vastaa keskimääräistä lämpötilaeroa  $T_{\text{Perus}} - T_{\text{Ulko}}$ ). Jokaista kuukautta vastaa kuvaajassa yksi piste. Näille pisteille muodostetaan trendikuvaaja. Trendikuvaajan selitysasteen ollessa riittävän hyvä muodostetaan sille kaava. Trendikuvaajan kaavasta  $y = ax + b$  otetaan kertoimet  $a$  ( $K_G$ ) ja  $b$  ( $K_D$ ), joiden avulla muodostetaan lämmönkulutuksen lähtötaso kaavalla 17.

$$\text{Lähtötaso} = K_D * t_{kk} + K_G * S + \text{Offset} \quad (17)$$

$K_D$  on trendikuvaajan kaavasta kerroin (0,58), [MWh/vrk]

$t_{kk}$  on kuukauden päivien lukumäärä, [vrk]

$K_G$  on trendikuvaajan kaavasta kerroin (3,23), [MWh/ $^{\circ}\text{C vrk}$ ]

$S$  on lämmitystarveluku, [ $^{\circ}\text{C vrk}$ ]

$K_D * t_{kk}$  on vakio-osuus, [MWh]

$K_G \cdot S$  on säästä riippuva osuus, [MWh]

Offset on mitattu kulutus – (vakio-osuus + säästä riippuva osuus), [MWh]

Kaavan 17 muoto on sama kuin trendikuvaajan kaava, mutta siihen lisätään päiväkerroin vakio-osuudelle  $b$ , koska lähtötasot määritellään kuukausitasolla ja kuvaajan kulutustaso on MWh/vrk. Säästä riippuvaan osuuteen  $a x$  ei tarvitse lisätä kerrointa, koska  $x$ :n arvo on lämmitystarveluku ja tämä pitää sisällään jo valmiiksi laskentajakson päivät, kun käytetään esimerkiksi kuukausikohtaista lämmitystarvelukua. Esimerkiksi tammikuussa on 31 päivää, jolloin  $b$ :n kerroin on 31 ja sen astepäiväluku oli tammikuussa 2009: 613 Kd, mikä vastaa 31 päivän arvoa. Laskentakaavaan lisätään myös offset-muuttuja, joka korjaa kuukausikohtaista kulutusta kiinteistön käyttöasteen mukaan.

Offset on tärkeä osa kaavaa ja laskentaa, koska esimerkiksi koulurakennukset saattavat olla suuremman osan joulukuusta kiinni ja tämän takia niiden kulutus ei seuraa normaalia kulutusjakaumaa. Offset huomioi lähtötason määrittämisessä tällaiset poikkeavuudet.

Taulukossa 6 on edellä mainittujen tietojen perusteella laskettu kuukausikohtaiset vakio-osuudet ( $K_D \cdot t_{ikk}$ ), säästä riippuvat osuudet ( $K_G \cdot S$ ) ja kuukausikohtaiset offset-muuttujat.

Taulukko 6. Vaihtoehtoisen menetelmän muuttujat

kk	Päivät	Mitattu kulutus	Lämmitystarveluvut	Vakio-osuus	Säästä riippuva	Yhteensä	Offset
Joulu 08	31	1465,56	399	18,05	1287,38	1305,43	160,13
Tammi 09	31	2222,65	613	18,05	1977,85	1995,90	226,75
Helmi 09	28	2015,06	576	16,30	1858,47	1874,77	140,29
Maalis 09	31	1888,25	556	18,05	1793,94	1811,99	76,26
Huhti 09	30	905,55	357	17,47	1151,86	1169,33	-263,78
Touko 09	31	424,90	104	18,05	335,56	353,61	71,29
Kesä 09	30	337,96	37	17,47	119,38	136,85	201,11
Heinä 09	31	169,55	5	18,05	16,13	34,18	135,37
Elo 09	31	177,41	0	18,05	0,00	18,05	159,36
Syys 09	30	324,54	52	17,47	167,78	185,25	139,29
Loka 09	31	1168,34	396	18,05	1277,70	1295,75	-127,41
Marras 09	30	1295,46	402	17,47	1297,06	1314,53	-19,07
KD	KG						
0,582274	3,226509477						

Huomioitavana asiana kaavalla laskettuna esimerkiksi joulukuun 2008 lähtötaso =  $0,58 * 31 + 399 * 3,2265 + ((0,58 * 31 + 399 * 3,2265) - 1465,56) = 1465$  MWh. Siten lähtötaso on täysin vastaava kuin mitattu kulutus, koska valittuja kulutuksia käytetään lähtötasona. Regressioanalyysillä saimme lähtötasokaavan kertoimet selville, joita jatkossa käytetään tehtäessä vertailua tulevien vuosien kulutuksille. Vertailuarvot lasketaan muuttamalla kaavaan ainoastaan mitattu kulutus ja lämmitystarveluku.

Taulukosta 7 on tällä vaihtoehtoisella laskentamenetelmällä lasketut seurantatason arvot. Laskenta tehdään muuten samalla lähtötasokaavalla, mutta kuluvan kauden lämmitystarveluvun tilalla käytetään normaalivuoden lämmitystarvelukuja. Esimerkiksi joulukuun 2008 seurantataso on  $0,58 * 31 + 594 * 3,2265 + 160,13 = 2095$ .

Taulukko 7. Seurantatasot

Kuukausi	Mitattu kulutus [MWh/kk]	Normaalivuoden lämmitystarveluku [HDD]	Sääkorjattu lähtötaso [MWh/kk]
joulu.08	1 466	594	2 095
tammi.09	2 223	657	2 365
helmi.09	2 015	619	2 154
maal.09	1 888	574	1 946
huhti.09	906	404	1 057
touko.09	425	169	635
kesä.09	338	12	257
heinä.09	170	2	160
elo.09	177	15	226
syys.09	325	144	621
loka.09	1 168	331	959
marras.09	1 295	468	1 508
Yhteensä (12 kk)	12 395	3 989	13 983

Tämä laskentamenetelmä ei ole täydellinen, koska laskennassa käytetään S17-lämmitystarvelukuja sekä normaalivuoden lämmitystarvelukuja. Ongelmana on muun muassa se, että kiinteistön peruslämpötila ei ole oikea. Vakio-osuuden aiheuttama arvaus jää kuitenkin pois laskennasta ja menetelmä soveltuu myös hyvin jäähdytyksen kulutusvertailuun. Lisäksi menetelmä huomioi käyttöasteen vaihtelut offsetin takia.

Laskentamenetelmään on mahdollista lisätä helposti kiinteistön peruslämpötilan arviointiin regressioanalyysi.



## 8 Yhteenveto

Työn tarkoituksena ole analysoida sääkorjausmenetelmän toimivuutta nykyajan kiinteistöissä. Tavoitteena oli antaa lukijalle mahdollisuus ymmärtää sääkorjauksen monipuolisuutta sekä siihen kohdistuvia ongelmia ja edistää sääkorjauslaskentamenetelmien päivittämistä samalla, kun rakennuksia koskevat määräykset tiukentuvat. Lisäksi työssä selvitettiin sääkorjauksen tarvetta myös jäähdytykseen.

Työ on tehty Schneider Electric Buildings Finland Oy:n toimeksiannosta ja sen tuloksia voivat hyödyntää sääkorjausmenetelmiä käyttävät ihmiset ja organisaatiot, kuten valtion virastot, kiinteistöjen omistajat, energiayhtiöt, kulutusseurantaa tarjoavat yritykset ja muut energia-alalla toimivat yritykset.

Tutkimuksessa käytettiin apuna muista maista saatuja sääkorjaustietoja, Ilmatieteen laitokselta saatuja ulkolämpötilatietoja Helsingin Kaisaniemestä, Helsingin Energian tunnittaisia ja kuukausi kulutustietoja sekä IVG Polar Oy:n, Schneider Electric Buildings Finland Oy:n ja Energiakolmio Oy:n kulutusseurantatietokantaa. Tutkimukset tehtiin pääasiassa laskemalla. Laskennassa käytettiin käytössä olevia sääkorjausmenetelmiä. Lisäksi tutkittiin mittausmenetelmien tarkkuutta ja niiden tarjoamia mahdollisuuksia.

Nykyiset sääkorjauslaskentamenetelmät eivät sovellu kiinteistöille, joiden energiatehokkuus on korkealla tasolla. Erityisesti laskennassa, jossa huomioidaan kiinteistön peruslämpötila, syntyy virhettä. Tutkimus osoittaa, että kaikkien kiinteistöjen todellinen peruslämpötila ei ole 17 °C. Virheellinen peruslämpötila vääristää merkittävästi kulutusvertailua ja säästölaskelmia. Lisäksi lämmitystarvelukuja on nyt saatavilla ainoastaan kuukausijaksoilla eli analysoinnit yö- ja päiväkäytölle eivät ole mahdollisia. Sääkorjauksessa lyhyemmillä jaksoilla on kuitenkin merkitystä, koska ulkolämpötila vaihtelee yö- ja päiväaikana. Uudet mittalaitteet mahdollistavat tarkemman kulutusseurannan, mutta niitä on vasta osassa suomalaisia kiinteistöjä.

Suomessa osa kiinteistöistä on jäähdytettyjä, ja kiinteistöjen sähkönkulutus käyttäytyy sääriippuvaisesti, minkä takia tarvitsemme jäähdytyksen sääkorjausmenetelmän.

Tutkimuksen perusteella nykyinen sääkorjauslaskentamenetelmä ei sovellu kehittyneille laskentamenetelmille ja matalaenergiataloille. Muut järjestelmät kehittyvät jatkuvasti, kuten kulutusseuranta, säästöläskelmat ja mittaustekniikka, mutta sääkorjausta tehdään edelleen 1970-luvun menetelmillä. Vaihtoehtoisia menetelmiä on olemassa, ja näiden käyttöönottoa tulisi vakavasti harkita. Tässä raportissa esitetään eräs vaihtoehtoinen tapa.

Keskeisin lisätutkimustarve on matalaenergiarakennuksillekin soveltuvan sääkorjauslaskentamenetelmän kehittäminen. Lisäksi on tarpeen selvittää, miten kiinteistön ilma-  
vuodot, ilmanvaihto, vaippa ja ilmaislämmöt vaikuttavat kiinteistön peruslämpötilaan.

## Lähteet

- 1 Energiatohokkuus sopimukset ja -katselmukset. 2011. Verkkodokumentti. Työ- ja elinkeinoministeriö. <<http://www.tem.fi/index.phtml?s=2588>>. Luettu 20.5.2011.
- 2 Degree-days: theory and application. 2008. Verkkodokumentti. The Chartered Institution of Building Services Engineers. <[https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/ME550/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=165384](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/ME550/1/material_docente/bajar?id_material=165384)>. Luettu 27.5.2011.
- 3 Lämmitystarveluku. Verkkodokumentti. 2011. Ilmatieteen laitos. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>>. Luettu 27.5.2011.
- 4 SMHI Graddagar. 2011. Verkkodokumentti. Swedish Meteorological and Hydrological Institute <<http://www.smhi.se/>>. Luettu 4.6.2011.
- 5 Degree Days. 2011. Verkkodokumentti. MetOffice. <<http://www.metoffice.gov.uk/>>. Luettu 7.3.2011
- 6 Varahal, Ananda. 2011. Energy expert. Building Solutions osasto. Schneider Electric US. Sähköposti. 4.6.2011.
- 7 Applications of degree days. Standardi. VDI 4710 Part 2 German Standard. Luettu 30.5.2011.
- 8 Lämmitysenergiankulutus. 2011. Verkkodokumentti. Motiva. <<http://www.motiva.fi>>. Luettu 23.5.2011.
- 9 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Rakentamismääräyskokoelma D5. 2007. Luettu 8.8.2011.
- 10 Nurmiainen, Riikka. 2011. Regressio. Opetusmonisteet. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 18.2.2012.

- 11 Monitoring and Targetting. 2011. Carbon Trust. 8.7.2011, s.8.
- 12 Haakana, Maarit. 2010. Yli-insinööri, ympäristöministeriö, Helsinki. Energiato-distusseminaari 18.3.2010.
- 13 Monitoring and Targetting. 2011. Carbon Trust. 8.7.2011, s.16.
- 14 Multical 601 Kaukolämpömittariesite. 2011. Verkkodokumentti. Kamstrup Oy. <[www.kamstrup.com](http://www.kamstrup.com)>. Luettu 20.6.2011.
- 15 Kaukolämmön mittaus. 2011. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. <[www.energia.fi](http://www.energia.fi)>. Luettu 29.8.2011.
- 16 Sähkömittariesite E350. 2011. Verkkodokumentti. Taran Syac Elektronik Ltd. <[http://www.taranelektronik.com /products\\_en.html](http://www.taranelektronik.com/products_en.html)>. Luettu 20.6.2011
- 17 Seurantatieto, tunnittaiset lämpötilat 2008–2010. Ilmatieteen laitos. 6.5.2011
- 18 Vuorokauden keskilämpötilat 1971–2010. 2001. Ilmatieteen laitos. 6.9.2011
- 19 Kulutusseurantaraportti, Sävel palvelu. 2010. Helsingin Energia. 13.9.2011
- 20 Tunti-, päivä-, kuukausi- ja vuosikulutusseurantaraportit. 2008–2010. Energia-kolmio Oy. 10.1.2012
- 21 Laki energiamarkkinoilla toimivien yritysten energiatehokkuuspalveluista. 1211/2009. Verkkodokumentti. Finlex <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20091211?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=1211%2F2009>>. Päivitetty 22.12.2009. Luettu 14.3.2012
- 22 Heikkinen, Lauri. 2011. Kehitysjohtaja, Schneider Electric Buildings Finland Oy, Vantaa. Tapaaminen 14.5.2011

**Vertailupaikkakuntien sääkorjauskertoimet**

Tiedot vuoden 2005 alun kuntatilanteen mukaisesti

<b>Vertailupaikkakunta</b> Tarkasteltava kunta	Vertailupaikka- kunnan normaali- vuoden läm- mitystarveluku	Kuntakohtainen korjauskerroin vertailupaikka- kuntaan	Kuntakohtainen korjauskerroin Jyväskylään
<b>Helsinki, Kaisaniemi</b>	<b>3 989</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>
Espoo		0,95	1,18
Hanko		1,00	1,24
Helsinki		1,00	1,24
Inkoo		0,98	1,21
Kauniainen		0,95	1,18
Kirkkonummi		0,96	1,20
Tammisaari		0,99	1,23
<b>Helsinki-Vantaa</b>	<b>4 229</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>
Hamina		0,95	1,12
Järvenpää		0,96	1,12
Karjaa		1,02	1,19
Karjalohja		1,01	1,18
Kerava		0,96	1,12
Kotka		0,97	1,13
Lapinjärvi		0,95	1,11
Liljendal		0,96	1,12
Lohja		1,02	1,19
Loviisa		0,97	1,13
Nurmijärvi		0,96	1,12
Pernaja		0,97	1,13
Pohja		1,02	1,19
Pornainen		0,96	1,13
Porvoo		0,99	1,15
Pyhtää		0,98	1,14
Ruotsinpyhtää		0,96	1,12
Sammatti		1,00	1,17
Sipoo		0,98	1,15
Siuntio		1,02	1,20
Suomusjärvi		1,00	1,17
Tuusula		0,96	1,12
Vantaa		0,98	1,15
Vihti		0,95	1,11
<b>Ivalo</b>	<b>6 381</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>
Enontekiö		0,92	0,72
Inari		0,98	0,76
Utsjoki		0,93	0,72

<b>Joensuu</b>	<b>5 117</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>
Eno		0,99	0,95
Enonkoski		1,05	1,01
Heinävesi		1,03	0,99
Ilomantsi		0,97	0,94
Joensuu		1,01	0,97
Juuka		0,96	0,93
Kerimäki		1,06	1,02
Kesälahti		1,04	1,01
Kitee		1,03	1,00
Kontiolahti		0,99	0,96
Liperi		1,02	0,98
Outokumpu		1,01	0,98
Polvijärvi		0,99	0,96
Pyhäselkä		1,00	0,97
Rääkkylä		1,02	0,99
Savonlinna		1,06	1,03
Savonranta		1,03	1,00
Tohmajärvi		1,00	0,96
<b>Jyväskylä</b>	<b>4 945</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>
Alajärvi		0,99	0,99
Alavus		1,00	1,00
Evijärvi		1,00	1,00
Halsua		0,98	0,98
Hankasalmi		1,00	1,00
Joutsa		1,03	1,03
Jyväskylä		1,01	1,01
Jyväskylän mlk		1,01	1,01
Jämsä		1,03	1,03
Jämsänkoski		1,02	1,02
Kangasniemi		1,01	1,01
Kannonkoski		0,99	0,99
Karstula		0,98	0,98
Kauhava		1,02	1,02
Kaustinen		0,99	0,99
Keuruu		1,00	1,00
Kinnula		0,98	0,98
Kivijärvi		0,99	0,99
Konnevesi		0,99	0,99
Korpilahti		1,03	1,03
Kortesjärvi		1,01	1,01
Kuortane		1,00	1,00
Kyyjärvi		0,98	0,98
Lappajärvi		1,00	1,00

Lapua	1,02	1,02	
Laukaa	1,00	1,00	
Lehtimäki	0,98	0,98	
Leivonmäki	1,01	1,01	
Lestijärvi	0,97	0,97	
Luhanka	1,04	1,04	
Multia	0,98	0,98	
Muurame	1,02	1,02	
Mänttä	1,03	1,03	
Nivala	0,96	0,96	
Nurmo	1,02	1,02	
Perho	0,98	0,98	
Petäjävesi	1,00	1,00	
Pylkönmäki	0,98	0,98	
Reisjärvi	0,97	0,97	
Saarijärvi	1,00	1,00	
Sievi	0,97	0,97	
Soini	0,98	0,98	
Sumiainen	1,00	1,00	
Suolahti	0,99	0,99	
Toholampi	0,97	0,97	
Toivakka	1,01	1,01	
Töysä	0,99	0,99	
Uurainen	0,99	0,99	
Vesanto	0,98	0,98	
Veteli	0,99	0,99	
Viitasaari	1,01	1,01	
Vilppula	1,03	1,03	
Vimpeli	0,99	0,99	
Virrat	1,01	1,01	
Ähtäri	0,98	0,98	
Äänekoski	0,99	0,99	
<b>Kajaani</b>	<b>5 420</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>
Haapajärvi	1,05	0,96	
Hyrnsalmi	0,96	0,88	
Kajaani	1,00	0,91	
Kestilä	1,01	0,93	
Kiuruvesi	1,05	0,96	
Kuhmo	0,98	0,90	
Kärsämäki	1,04	0,95	
Lieksa	1,03	0,94	
Nurmes	1,00	0,91	
Paltamo	0,99	0,90	
Pihtipudas	1,08	0,99	

Piippola	1,03	0,94	
Pudasjärvi	0,95	0,87	
Puolanka	0,96	0,88	
Pyhäjärvi	1,05	0,96	
Pyhäntä	1,02	0,93	
Rautavaara	1,01	0,92	
Ristijärvi	0,98	0,89	
Sonkajärvi	1,02	0,93	
Sotkamo	0,99	0,91	
Suomussalmi	0,94	0,85	
Taivalkoski	0,90	0,82	
Utajärvi	0,98	0,89	
Vaala	0,99	0,90	
Valtimo	1,00	0,91	
Vieremä	1,03	0,94	
Vuolijoki	1,01	0,92	
<b>Kuopio</b>	<b>4 943</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>
Haukivuori	1,01	1,01	
Iisalmi	0,96	0,97	
Joroinen	1,01	1,01	
Juankoski	0,98	0,98	
Kaavi	0,96	0,96	
Karttula	0,99	0,99	
Keitele	0,98	0,98	
Kuopio	1,01	1,01	
Lapinlahti	0,97	0,97	
Leppävirta	1,00	1,00	
Maaninka	0,98	0,98	
Nilsinä	0,96	0,97	
Pieksänmaa	1,00	1,00	
Pielavesi	0,97	0,97	
Rantasalmi	1,02	1,02	
Rautalampi	0,99	0,99	
Siilinjärvi	0,99	0,99	
Suonenjoki	0,99	0,99	
Tervo	0,98	0,98	
Tuusniemi	0,98	0,98	
Varkaus	1,00	1,00	
Varpaisjärvi	0,96	0,96	
<b>Lahti</b>	<b>4 512</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>
Anjalankoski	1,00	1,09	
Artjärvi	1,01	1,11	
Asikkala	1,00	1,10	
Askola	1,02	1,12	



Elimäki	1,01	1,10	
Forssa	1,01	1,10	
Hartola	0,96	1,06	
Hattula	1,01	1,11	
Hauho	0,99	1,09	
Hausjärvi	1,00	1,10	
Heinola	1,00	1,09	
Hollola	0,98	1,07	
Humppila	1,01	1,11	
Hyvinkää	1,01	1,11	
Hämeenkoski	0,98	1,08	
Hämeenlinna	1,00	1,10	
Iitti	1,00	1,09	
Jaala	0,99	1,08	
Janakkala	1,00	1,10	
Jokioinen	1,02	1,11	
Kalvola	1,01	1,10	
Karkkila	1,02	1,12	
Kouvola	1,00	1,09	
Kuusankoski	1,00	1,09	
Kärkölä	0,99	1,09	
Lahti	0,99	1,09	
Lammi	0,97	1,06	
Loppi	1,00	1,10	
Luopioinen	0,99	1,08	
Myrskylä	1,02	1,11	
Mäntsälä	1,01	1,11	
Nastola	1,00	1,09	
Nummi-Pusula	1,03	1,13	
Orimattila	1,01	1,11	
Padasjoki	0,97	1,07	
Pukkila	1,02	1,11	
Renko	1,01	1,10	
Riihimäki	1,00	1,10	
Somero	1,03	1,13	
Sysmä	0,98	1,07	
Tammela	1,02	1,11	
Tuulos	0,98	1,08	
Valkeala	0,99	1,08	
Ypäjä	1,03	1,12	
Lappeenranta	4 612	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>
Hirvensalmi	0,97	1,04	
Imatra	0,99	1,06	
Joutseno	0,99	1,06	

Juva	0,96	1,03	
Lappeenranta	1,01	1,08	
Lemi	1,00	1,07	
Luumäki	1,01	1,08	
Miehikkälä	1,03	1,10	
Mikkeli	0,96	1,03	
Mäntyharju	0,99	1,06	
Parikkala	0,96	1,03	
Pertunmaa	0,98	1,05	
Punkaharju	0,96	1,03	
Puumala	0,98	1,06	
Rautjärvi	0,97	1,04	
Ristiina	0,98	1,05	
Ruokolahti	0,97	1,04	
Savitaipale	1,00	1,07	
Sulkava	0,97	1,04	
Suomenniemi	0,99	1,06	
Taipalsaari	0,99	1,07	
Virolahti	1,06	1,13	
Ylämaa	1,02	1,09	
Maarianhamina	3 896	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>
Brändö	1,00	1,27	
Dragsfjärd	0,98	1,25	
Eckerö	1,03	1,31	
Finström	1,00	1,27	
Föglö	1,02	1,29	
Geta	1,00	1,27	
Hammarland	0,99	1,26	
Houtskari	1,00	1,27	
Iniö	1,00	1,27	
Jomala	0,99	1,26	
Korppoo	1,00	1,27	
Kumlinge	1,01	1,29	
Kökar	1,03	1,31	
Lemland	1,03	1,31	
Lumparland	1,03	1,31	
Maarianhamina	1,00	1,27	
Nauvo	0,98	1,24	
Saltvik	1,00	1,27	
Sottunga	1,01	1,29	
Sund	1,01	1,28	
Värdö	1,03	1,30	
Västanfjärd	0,97	1,23	
Oulu	5 170	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>

Alavieska	1,00	0,96	
Haapavesi	0,99	0,95	
Hailuoto	0,99	0,95	
Haukipudas	0,97	0,93	
Himanka	1,03	0,98	
Ii	0,96	0,92	
Kalajoki	1,02	0,98	
Kannus	1,01	0,97	
Kemi	0,95	0,91	
Keminmaa	0,93	0,89	
Kempele	0,99	0,95	
Kiiminki	0,96	0,92	
Kuivaniemi	0,92	0,88	
Kälviä	1,02	0,98	
Liminka	0,98	0,94	
Lohtaja	1,04	0,99	
Lumijoki	1,00	0,96	
Merijärvi	1,00	0,96	
Muhos	0,97	0,93	
Oulainen	0,99	0,94	
Oulu	0,98	0,94	
Oulunsalo	1,00	0,96	
Pulkkila	0,98	0,94	
Pyhäjoki	1,01	0,96	
Raahe	1,00	0,96	
Rantsila	0,98	0,94	
Ruukki	0,99	0,95	
Siikajoki	1,01	0,97	
Simo	0,92	0,88	
Tervola	0,91	0,88	
Tornio	0,92	0,88	
Tyrnävä	0,98	0,94	
Ullava	1,02	0,98	
Vihanti	0,98	0,94	
Yli-Ii	0,94	0,90	
Ylikiiiminki	0,95	0,91	
Ylivieska	1,00	0,96	
<b>Pori</b>	<b>4 255</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>
Eura	0,98	1,14	
Eurajoki	1,00	1,17	
Harjavalta	0,97	1,13	
Kiukainen	0,98	1,14	
Kodisjoki	1,00	1,16	
Kokemäki	0,96	1,12	

Köyliö	0,97	1,12
Lappi	0,99	1,15
Luvia	1,00	1,17
Merikarvia	0,97	1,13
Nakkila	0,98	1,14
Noormarkku	0,96	1,12
Pori	1,00	1,17
Rauma	1,02	1,18
Säkylä	0,97	1,13
Ulvila	0,98	1,14
<b>Sodankylä</b>	<b>6 337</b>	<b>k<sub>1</sub> k<sub>2</sub></b>
Kemijärvi	1,03	0,80
Kittilä	0,97	0,76
Kolari	1,01	0,79
Kuusamo	1,02	0,80
Muonio	0,96	0,75
Pelkosenniemi	1,01	0,78
Pello	1,04	0,82
Posio	1,02	0,80
Ranua	1,08	0,84
Rovaniemen mlk	1,07	0,84
Rovaniemi	1,09	0,85
Salla	1,01	0,79
Savukoski	0,99	0,77
Sodankylä	0,96	0,75
Ylitornio	1,08	0,85
<b>Tampere-Pirkkala</b>	<b>4 502</b>	<b>k<sub>1</sub> k<sub>2</sub></b>
Alastaro	1,02	1,12
Honkajoki	0,96	1,06
Huittinen	1,01	1,11
Hämeenkyrö	0,98	1,08
Ikaalinen	0,96	1,06
Ilmajoki	0,95	1,04
Isojoki	0,96	1,06
Jalasjärvi	0,93	1,03
Juupajoki	0,94	1,03
Jämijärvi	0,97	1,06
Kangasala	0,99	1,09
Kankaanpää	0,98	1,08
Karvia	0,93	1,02
Kauhajoki	0,94	1,03
Kihniö	0,92	1,01
Kiikoinen	1,00	1,10
Kuhmalahti	0,97	1,07

Kuhmoinen	0,96	1,05	
Kurikka	0,95	1,04	
Kuru	0,94	1,03	
Kylmäkoski	1,01	1,11	
Lavia	0,99	1,09	
Lempäälä	1,01	1,11	
Loimaa	1,03	1,13	
Längelmäki	0,96	1,05	
Mouhijärvi	0,99	1,09	
Nokia	0,99	1,09	
Orivesi	0,96	1,06	
Parkano	0,94	1,03	
Pirkkala	1,00	1,10	
Pomarkku	1,01	1,11	
Punkalaidun	1,01	1,11	
Pälkäne	1,00	1,10	
Ruovesi	0,94	1,03	
Seinäjoki	0,94	1,03	
Siikainen	0,99	1,09	
Suodenniemi	0,99	1,09	
Tampere	0,98	1,08	
Toijala	1,01	1,11	
Urjala	1,00	1,10	
Valkeakoski	1,01	1,11	
Vammala	1,00	1,10	
Vampula	1,02	1,12	
Vesilahti	1,01	1,11	
Viiala	1,01	1,11	
Viljakkala	0,96	1,06	
Ylöjärvi	0,99	1,08	
Äetsä	1,00	1,10	
<b>Turku</b>	<b>4 115</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>
Askainen		1,01	1,22
Aura		0,97	1,17
Halikko		0,98	1,18
Kaarina		1,00	1,21
Kemiö		1,01	1,21
Kiikala		0,96	1,15
Kisko		0,98	1,18
Koski Tl		0,95	1,14
Kustavi		1,03	1,24
Kuusjoki		0,95	1,14
Laitila		0,98	1,17
Lemu		1,01	1,21

Lieto	0,98	1,18	
Marttila	0,96	1,16	
Masku	1,00	1,20	
Mellilä	0,94	1,13	
Merimasku	1,03	1,23	
Mietoinen	1,00	1,20	
Muurla	0,98	1,18	
Mynämäki	0,97	1,17	
Naantali	1,02	1,22	
Nousiainen	0,99	1,18	
Oripää	0,95	1,14	
Paimio	0,98	1,17	
Parainen	1,02	1,23	
Perniö	1,00	1,20	
Pertteli	0,96	1,16	
Piikkiö	0,99	1,19	
Pyhäranta	0,99	1,19	
Pöytyä	0,95	1,15	
Raisio	1,01	1,22	
Rusko	1,00	1,20	
Rymättylä	1,03	1,24	
Salo	0,98	1,18	
Sauvo	0,99	1,20	
Särkisalo	1,01	1,22	
Taivassalo	1,02	1,23	
Tarvasjoki	0,97	1,17	
Turku	1,00	1,20	
Uusikaupunki	1,01	1,21	
Vahto	0,98	1,17	
Vehmaa	1,00	1,20	
Velkua	1,05	1,26	
Yläne	0,96	1,15	
<b>Vaasa</b>	<b>4 588</b>	<b>k<sub>1</sub></b>	<b>k<sub>2</sub></b>
Alahärmä	0,95	1,03	
Isokyrö	0,98	1,05	
Jurva	0,97	1,05	
Karjajoki	0,99	1,07	
Kaskinen	1,03	1,11	
Kokkola	0,93	1,01	
Korsnäs	1,02	1,10	
Kristiinankaupunki	1,02	1,10	
Kruunupyy	0,93	1,00	
Laihia	0,98	1,06	
Larsmo	0,94	1,01	

Malax	<b>1,00</b>	<b>1,07</b>
Maxmo	<b>0,98</b>	<b>1,06</b>
Mustasaari	<b>1,00</b>	<b>1,08</b>
Närpiö	<b>1,00</b>	<b>1,08</b>
Oravainen	<b>0,96</b>	<b>1,04</b>
Pedersöre	<b>0,93</b>	<b>1,01</b>
Pietarsaari	<b>0,95</b>	<b>1,03</b>
Teuva	<b>0,98</b>	<b>1,05</b>
Uusikaarlepyy	<b>0,96</b>	<b>1,04</b>
Vaasa	<b>1,00</b>	<b>1,08</b>
Vähäkyrö	<b>0,98</b>	<b>1,06</b>
Vöyri	<b>0,97</b>	<b>1,05</b>
Ylihärmä	<b>0,96</b>	<b>1,03</b>
Ylistaro	<b>0,97</b>	<b>1,05</b>

## Normaalivuoden 1971-2000 lämmitystarveluvut Ilmatieteen laitos

## Lämmitystarveluvut 1971-2000

Vertailupaikkakunta	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Maarianhamina	599	577	559	424	216	36	7	22	160	320	433	543	3 896
Helsinki Kaisaniemi	657	619	574	404	169	12	2	15	144	331	468	594	3 989
Turku	667	629	582	399	170	19	4	23	170	352	488	612	4 115
Helsinki-Vantaa	691	647	593	402	165	18	4	27	185	364	502	631	4 229
Pori	680	639	589	413	189	25	5	29	195	364	500	627	4 255
Tampere-Pirkkala	734	681	614	411	186	29	6	39	211	382	537	672	4 502
Lahti Laune	737	686	615	419	172	25	6	36	215	394	533	674	4 512
Vaasa	732	667	620	445	215	33	9	47	221	397	535	667	4 588
Lappeenranta	771	702	624	425	177	26	6	34	204	404	548	691	4 612
Kuopio	820	748	657	468	213	34	8	43	216	415	579	742	4 943
Jyväskylä	789	727	650	464	217	43	13	63	251	427	576	725	4 945
Joensuu	837	762	670	479	231	43	12	55	237	434	598	759	5 117
Oulu	829	749	674	484	263	49	11	62	243	442	606	758	5 170
Kajaani	867	783	695	502	260	59	21	82	266	460	630	795	5 420
Sodankylä	964	840	759	570	358	113	55	150	330	545	742	911	6 337
Ivalo	947	823	752	575	387	153	76	157	328	545	744	894	6 381



Ruotsi

**SMHI**

## SMHI GRADDAGAR

En enkel och snabb metod för energiuppföljning. Rätt innetemperatur till lägsta möjliga kostnad – något som de flesta fastighetsägare eftersträvar. För att lyckas krävs ett effektivt underhåll av värmesystemet, men också regelbunden uppföljning av energianvändningen.

### KORRIGERA FÖR TEMPERATURENS VARIATIONER

Med SMHI Graddagar blir det möjligt att jämföra energiåtgången för olika perioder med hänsyn till utetemperaturens variation. SMHI Graddagar anger hur temperaturen avviker från den normala – en information som gör det möjligt att jämföra olika förbrukningsuppgifter och som underlättar arbetet med framtagning av driftstatistik.

### MINSKA ENERGIFÖRBRUKNINGEN

Att använda SMHI Graddagar i förvaltningsarbetet skapar förutsättningar för att sänka energiförbrukningen. Kontinuerlig uppföljning ger signaler som gör det möjligt att snabbt åtgärda fel och brister i anläggningarna. Med rätt underlag underlättas också budgetarbetet samt planering och uppföljning av olika energisparåtgärder.

### SÅ BERÄKNAS SMHI GRADDAGAR

Beräkningen av SMHI Graddagar utgår från att byggnadens värmesystem ska värma upp byggnaden till +17° C. Resterande energibehov antas tillkomma från solinstrålning samt från värme som alstras av personer och elektrisk utrustning i byggnaden.

För varje dag beräknas skillnaden mellan dygnsmedeltemperaturen och +17° C. Vår, sommar och höst har solinstrålningen särskilt stor betydelse, varför graddagar då endast beräknas då dygnets medeltemperatur underskrider följande värden.

april	+12° C
maj - juli	+10° C
augusti	+11° C
september	+12° C
oktober	+13° C

### SÅ PRESENTERAS SMHI GRADDAGAR

Månadsvärden på SMHI Graddagar tas kontinuerligt fram för ca 300 orter indelat i 10 regioner. För varje ort presenteras information i tabellform med uppgift om den senaste månadens värden och hur dessa avviker från motsvarande normalvärden. Dessutom innehåller sammanställningen uppgifter om månadens medeltemperatur för ett stort antal platser.

Utöver månadsvärden på SMHI Graddagar, är det också möjligt att abonnera på dygnsvisa graddagsvärden för en eller flera orter.

### STANDARDPRODUKTER

- SMHI Graddagar med månadsvärden för samtliga orter inom en eller flera regioner.
- SMHI Graddagar med månadsvärden för en eller flera orter.
- SMHI Graddagar med dygnsvisa värden för en eller flera orter.

Utöver standardutbudet kan vi även erbjuda lösningar för just din verksamhet.



Regionsindelning för SMHI Graddagar.

### För mer information kontakta:

Torbjörn Grönbergs, Säljansvarig  
tel 031-751 89 66  
e-post torbjorn.gronbergs@smhi.se

Liselotte Norén, Säljare  
tel 011-495 85 12  
e-post liselotte.noren@smhi.se

## Iso-Britannia

Degree days are defined as the mean number of degrees by which the air temperature has gone above, or below, a threshold, calculated day by day and summed over a period of days. Days when the temperature has not gone above (or below) the threshold at any point in the day do not contribute to the total.

Grids of degree day values are available for three thresholds:

- Below 15.5 °C (heating degree days)
- Above 22 °C (cooling degree days)
- Above 5.5 °C (growing degree days)

The formulae used for calculating degree days above a threshold are as follows (equivalent formulae are used for degree days below a threshold).

TEMPERATURE	DEGREE DAY VALUE (ABOVE THRESHOLD)
$T_{max} \leq T_{threshold}$	0
$T_{min} \geq T_{threshold}$	$T_{mean} - T_{threshold}$
$T_{mean} \geq T_{threshold}$ & $T_{min} < T_{threshold}$	$0.5(T_{max} - T_{threshold}) - 0.25(T_{threshold} - T_{min})$
$T_{mean} < T_{threshold}$ & $T_{max} > T_{threshold}$	$0.25(T_{max} - T_{threshold})$

The daily mean temperature  $T_{mean}$  is calculated from the daily maximum temperature  $T_{max}$  and the daily minimum temperature  $T_{min}$  as  $0.5 (T_{max} + T_{min})$

The calculation requires daily measurements of maximum and minimum outside air temperatures ( $T_{max}$  and  $T_{min}$ ) and a 'base temperature'  $T_{base}$ , nominated by the user as an estimate of the outside air temperature at which no artificial heating (or cooling) is required. In the UK  $T_{base}$  for heating has commonly been set at 15.5°C, but other base temperatures can be adopted.

## Saksa

**4.3.2 Application of degree days**

The outdoor-temperature correction of characteristic values of heating-energy consumption is performed using degree days. Degree days are calculated in accordance with VDI 4710 Part 2. For the application of this guideline, an approximate calculation can be made using Equation (9) and Equation (10). According to these equations, a degree day,  $G$ , is the difference between the average room temperature of 20 °C and the average outdoor temperature for one day. Only those days are considered in the calculation whose daily average temperature lies below 15 °C.

$$G = (20\text{ °C} - t_m) \cdot 1\text{ d for } t_m < 15\text{ °C} \quad (9)$$

where

$G$  degree day, in K·d

$t_m$  daytime average of outdoor temperature during one heating day ( $t_m < 15\text{ °C}$ )

Add the degree days for all days under consideration to obtain the value for an analysis period.

$$G_z = \sum_{n=1}^z (20 - t_{m,n}) \quad (10)$$

where

$z$  number of days within the analysis period, where  $t_m < 15\text{ °C}$

The sum over a calendar year is the annual degree day,  $G_a$ .

The daily average outdoor temperature is calculated as the average of the 24 hourly values of a day when automatic temperature recording is used. In case of discrete readings, use the three temperature readings at 7:30 h, 14:30 h and 21:30 h (CET). From these, the average day temperature is determined by adding twice the value measured at 21:30 h to the other two temperatures and dividing the sum by 4.

The tables in Annex A offer average annual degree days for selected locations in the Federal Republic of Germany, which are based on meteorological measurements.

The degree days allow comparing the heating-energy consumptions of different places and times; Equation (7) can be used for correcting these values.

Where the heating-energy consumptions are to be compared among buildings at the same location, reference can be made to average degree days for this location. Local characteristics are recommended where corrected energy consumptions are to be used for budgeting.

Liite 4. Helsingin Kaisaniemen kuukausi keskilämpötilat 2004–2010 ja normaalivuoden kuukauden keskilämpötilat.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Normaalivuosi
Tammi	-5,7	-0,1	-3,6	-1,1	0,6	-2,8	-10,4	-4,2
Helmi	-4,0	-4,4	-7,9	-7,9	1,1	-3,6	-8,1	-4,9
Maalis	-0,5	-5,0	-5,4	3,1	0,2	-0,9	-1,8	-1,5
Huhti	4,9	4,5	3,6	5,5	6,1	4,5	4,6	3,3
Touko	10,3	10,3	10,5	10,5	10,9	11,0	11,5	9,8
Kesä	13,3	14,4	15,9	15,6	14,4	14,1	14,6	14,8
Heinä	16,6	19,2	18,9	17,5	17,6	17,2	21,7	17,2
Elo	17,3	16,7	18,7	17,6	15,5	16,7	18,1	15,8
Syys	12,8	13,1	14,0	11,9	10,4	13,5	12,2	10,9
Loka	6,8	8,3	8,5	7,3	9,3	4,2	6,0	6,2
Marras	1,1	4,6	2,7	1,2	3,7	3,6	-0,5	1,4
Joulu	1,1	-2,2	4,0	2,4	1,3	-3,6	-7,5	-2,2
Keskilämpötila	6,2	6,6	6,7	7,0	7,6	6,2	5,0	5,6